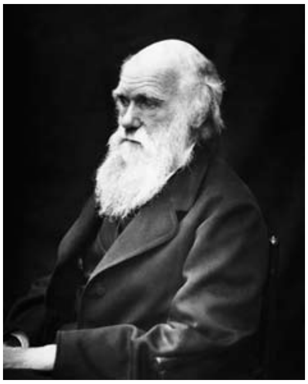
5 עקרונות 3 היסקים. זה כל הסיפור



תמונה: ויקישיתוף

דרווין לימד אותנו רעיון עמוק ופשוט – פשוט כל־כך, שילד סקרן יכול להבינו ללא קושי. ראשית, כל אוכלוסייה פורייה בטבע היתה מעמידה צאצאים בטור גיאומטרי לו דבר לא היה עומד בדרכה: יתושים, שרכים וגם פילים וקרנפים היו ממלאים את העולם עד מהרה. שנית, למעט תנודות עונתיות, גודל האוכלוסייה בטבע נותר קבוע פחות או יותר: בפעם האחרונה שבדקתם מחוץ לחלונכם, ודאי לא ראיתם שם עדר של פילים. שלישית, המשאבים בטבע מוגבלים – יש כמות סופית של מים, אוכל ואור הזמינה לאורגניזמים. משלושת העקרונות הבלתי שנויים במחלוקת הללו הסיק דרווין שחייבת להיות בטבע תחרות על המשאבים. בהמשך לכך, וזה העיקרון הרביעי, טען דרווין שישנה שונות בין הפרטים בכל אוכלוסייה באשר ליכולתם ליהנות מאותם משאבים מוגבלים, ובכך להיות מותאמים לסביבתם: אף־על־פי שהעין העצלה אולי סבורה כך, מבט בוחן מעט יותר מלמד שאין שני פרטים זהים בתוך מין כלשהו בטבע – לא בולבולים מצויים ולא שימפנזות ואף לא נחשים, דבורים ונמלים. מסקנתו של דרווין היתה שיהיו מי שיצליחו יותר מאחרים במאבק ההישרדות בטבע. את מה שעמל עליו משביח היונים או הסחלבים בצורה מודעת, מבצע הטבע כעיוור: הוא בורר את המותאמים ביותר בתהליך, שאותו כינה דרווין "הברירה הטבעית". אם התכונות ההופכות פרט אחד למוצלח יותר מחברו מועברות איכשהו לצאצאיו של אותו פרט, ואכן כך הדבר, וזה העיקרון החמישי – הרי שתתחייב מה שכינה דרווין "DESCENT WITH MODIFICATION" – או אבולוציה – שאינה אלא שינוי בהרכב תכונות הפרטים במעבר מדור לדור. חמישה עקרונות, שלושה היסקים, זה כל הרעיון. הרעיון פשוט, אבל משמעויותיו דרמטיות. המאבק בטבע ותהליך הברירה הטבעית הוליכו את דרווין למסקנה שמקורם של כל החיים על פני כדור הארץ במוצא משותף אחד.

ד"ר אורן הרמן

(מתוך אחרית דבר ל"אוטוביוגרפיה" של צ'ארלס דרווין. הוצאת רסלינג, 2008)

אודיסאה

| מסע בין רעיונות |

מערכת:
עורך ראשי: שמואל שם-טוב
עורכות אחראיות: אילה מילר, אורית סוליציאנו
ועדה מיעצת: עידן שגב, עילם גרוס
עריכה לשונית והגהות: מירב הלפרין, אילה לוין
תרגום: מיכל בן יעקוב, עמרי אשר
עריכה גרפית ועיצוב: סטודיו קפלן/פרנקו
www.kfdesign.co.il

מאיירים: רות גוילי, דוד פולונסקי, ראובן קופרמן
צלמים: אורי גרשוני, אלעד חגי פרידמן,
קאי פון רבנאו
איור שער: דוד פולונסקי
תרגום ציטוט בשער: עדי מרקוזה - הס

מפיקה ומנהלת הפצה: איריס חייט
דפוס: דפוס אלי מאיר
מערך מנויים ושרות לקוחות:
03-9411621 ,052-9993111
www.odyssey.org.il

מנהל פרסום ומודעות:
מוזה - פלטפורמת שיווק אקטיבית
מנהל מסחרי: אופיר שאומן
טלפון למודעות: 03-6226226
ofir@my-muzza.co.il

כתובת לפניות:
ת"ד 15055 רחובות 76150
odyssey@odyssey.org.il

הנהלה:
יו"ר: אילה מילר, יצחק אברבאנל
אורית סוליציאנו
מנכ"ל: שמואל שם-טוב

מוציאים לאור:
"אודיסאה - מסע בין רעיונות"
מיסודם של: חברת טבע,
האוניברסיטה העברית ירושלים

© כל הזכויות שמורות.
תוכן המודעות באחריות המפרסמים.

טבע תעשיות פרמצבטיות בע"מ

האוניברסיטה העברית בירושלים
The Hebrew University of Jerusalem

צ'ארלס דרווין (1809–1882). יום הולדת עגול הוא תמיד הזדמנות לרטרוספקטיבה, ושני תאריכים עגולים מזמינים פרספקטיבה כפולה. השנה אנו מציינים מאתיים שנה להולדתו של צ'ארלס דרווין ומאה וחמישים שנה מאז יצא לאור ספרו הגדול "מוצא המינים". פרסומים רבים, כנסים מדעיים ואירועים שונים ברחבי העולם המדעי והתרבותי, יעסקו בחודשים הבאים בדרווין ובתורת האבולוציה. בבריטניה בונים מחדש את ספינת הדגל המלכותית ה"ביגל", לקראת הפלגה ארוכה שתשחזר את מסעם ההיסטורי של דרווין וקפטן פיצרוי. גם אנו בחרנו להקדיש גיליון זה, המתפרסם בינואר 2009, לנושאים הקשורים באבולוציה ובדרוויניזם, ועוסקים, מזוויות שונות, במהפכה שחולל דרווין בהבנת האדם, הטבע והתפתחות המינים.

"אודיסאה – מסע בין רעיונות" הוא כתב־עת העוסק במחשבות, רעיונות, דילמות ויכוחים המתקיימים בחזית העשייה המדעית והפילוסופית העכשווית. כתב־העת מכוון ליצירת חיבור בין מדע לחברה ובין רעיונות לתוצאותיהם ולמשמעותם.

חברת "טבע" והאוניברסיטה העברית בירושלים מוציאות לאור את אודיסאה כחלק מפעילותן לקידום המדע והתרבות בישראל

סלקציה 09 | אדפטציה 09 | היטלר 12 | דוקינס 10 |
מארקס 12 | למארק 16 | ליסנקו 17 | הסינתזה
המודרנית 17 | גנוטיפ 17 | תורשה אפיגנטית 19 |
וריאציה 20 | ג'ון. ס. מיל 23 | גנרציה 27 | לואי פסטר 27 |
אלכסנדר אופרין 28 | הגן תחילה 29 | מטבוליזם
תחילה 29 | הומוסקסואליות 35 | סייברספייס 38 |
סינגולאריות 40 | דקארט 42 | אדם סמיות 46 | תורת
המשחקים 48 | הכבשה דולי 52 | מאובנים 55 |
חיי נצח 62 | מוצא המינים 70 | הרצף הגנטי 75 |
גלאפגוס 80 | ביגל 81 |

תוכן עניינים

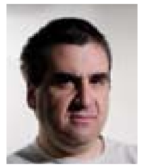
מדורים

06 **פתח דבר – העיניים של דרווין** / דודי גולדמן
22 **רוח המאה ה־19 – לכל אדם טביעת אצבע משלו** / שמואל שם-טוב
34 **יחסי מין – האמנם שלא כדרך הטבע?** / עדי מרקוזה הס
52 **תמונת אמן – הכבשה דולי** / שמעון אדף
70 **ספרים שטילטלו את העולם – כן אנחנו חיות** / אריק גלסנר
80 **המסע – HMS BEAGLE בדרך לאיי גלאפגוס** / יעל נופר-שורץ
84 **סקירת כתבי־עת** / זאב שביידל

שיחות עם:

08
אבולוציה אדם ותרבות

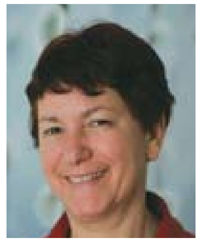
פרופ' גבריאל מוצקין
מנהל מכון ון-ליר ואמריטוס של האוניברסיטה העברית בירושלים. עוסק בפילוסופיה של ההיסטוריה, תאוריות של חילון, של זיכרון, מדע קוגניטיבי והפילוסופיה של היידגר



75
20,000 גנים. אינסוף תכונות

פרופ' אריאל דרבסי
ראש החוג לגנטיקה במכון למדעי החיים, האוניברסיטה העברית ירושלים

פרופ' חוה יבלונקה



14
אבות אכלו בוסר ושיני בנים תקהנה

מרצה למיקרוביולוגיה וגנטיקה באוניברסיטת תל-אביב. עוסקת בעיקר בתורשה אפיגנטית - הבנת תהליכי אבולוציה המושפעים משינויים שאינם מועברים באמצעות הגנים. בין השאר עוסקת בהורשת התנהגויות נלמדות ובהשפעות התרבות ומערכות סמלים על האבולוציה של האדם. סיימה את הדוקטורט בגנטיקה ואת לימודי הפוסט־דוקטורט בפילוסופיה של המדע באוניברסיטה העברית בירושלים. חברה ומרצה במכון כהן להיסטוריה ופילוסופיה של המדע באוניברסיטת תל-אביב

ד"ר איריס פרי

26
מוצא החיים על פני האדמה

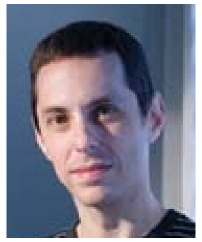
מרצה במחלקה ללימודים הומניסטיים ואמנויות בטכניון, בנושאי ההיסטוריה והפילוסופיה של הביולוגיה. הדוקטורט שלה בהיסטוריה ובפילוסופיה של המדע עסק ביחס לרעיונות האבולוציה ומוצא החיים בארה"ב. על בסיס השכלתה האקדמית בכימיה, ביוכימיה, פילוסופיה והיסטוריה של הביולוגיה החלה לחקור את האספקטים המדעיים, ההיסטוריים והפילוסופיים של שאלת מוצא החיים. בשנת 2000 פורסם ספרה: The Emergence of Life on Earth: A Historical and Scientific Overview בהוצאת אוניברסיטת Rutgers.

פרופ' רן שפיגלר

45
היד הנעלמה והברירה הטבעית

למד כלכלה לתואר ראשון, שני ושלישי באוניברסיטת תל-אביב. לאחר השתלמות פוסט-דוקטורט באוקספורד ובמכון ללימודים מתקדמים בפרינסטון, הצטרף כמרצה לבית־הספר לכלכלה באוניברסיטת תל-אביב. בשנים האחרונות מתגורר בלונדון ומשמש פרופ' לכלכלה ביוניברסיטי קולג' לונדון, שם הוא מלמד קורסים לתואר מתקדם בתחומי המחקר שלו, תיאוריה כלכלית ותורת המשחקים. בשנים האחרונות עסק בעיקר בחקר מודלים של שווקים עם צרכנים בעלי "רציונליות מוגבלת"

רותם חרמון



38
לקראת חיי נצח

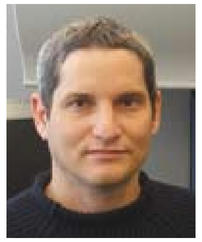
מהנדס תוכנה, עבד במספר חברות בתחום האינטרנט וכיום עובד בחברת Gigya הפועלת בתחום המדיה החברתית. מתעניין בטכנולוגיה ובהשפעותיה על האדם והחברה. חוקר את נושא התודעה והרחבת המודעות. בוגר תואר שני בתכנית בפילוסופיה, מידע ותרבות דיגיטלית באוניברסיטת תל-אביב

ד"ר גיא דויטשר

54
אני טרזן

נולד בתל-אביב ב־1969, למד מתמטיקה באוניברסיטת קיימברידג' ואף עשה בה את הדוקטורט בבלשנות. היה עמית מחקר בבלשנות היסטורית בקיימברידג' וכיום מלמד באוניברסיטת ליידן בהולנד. ספרו "גלגולי לשון", העוסק באבולוציה של השפה, ראה אור בעברית בשנת 2007

ד"ר ליאור שמיר



62
האם ייתכנו חיי נצח?

עמית מחקר במחלקה לגנטיקה של המכון הלאומי לחקר ההזדקנות (NIA) בבולטימור, מרילנד. בעל PHD בהנדסת חישוביות. עוסק בביואינפורמטיקה, ניתוח מערכתי של תהליכי הזדקנות, וכן בפיתוח שיטות לאבחון מוקדם של מחלות

פתח דבר

06

דודי גולדמן

העיניים של דרווין

התמונה המפורסמת ביותר של צ׳ארלס דרווין היא קריקטורה שמשלבת בין פניו לגופו של קוף מגודל. דרווין אכן חיבר מחדש את בני האדם אל משפחת היצורים החיים. הוא עשה זאת בעיקר דרך התבוננות קפדנית על עולם החי שסבב אותו

■ מעטות התמונות שבהן מביט צ׳ארלס דרווין ישר אלינו. תמונה אחת כזו צוירה ב־1840, הרבה לפני פרסום ״מוצא המינים״. הוא ואשתו הטרייה אמה ישבו בנפרד, בבגדים מהודרים, לפני הצייר ג׳ורג׳ ריצ׳מונד, לתמונת דיוקן משפחתי קלאסית של בני אצולה בריטים. בצילומים מאוחרים יותר מופיע דרווין בדרך כלל בפרופיל, שלא מאפשר לנו לתפוס את מבע עיניו. התמונה המופיעה כאן, יוצאת דופן בזכות המבט. אין עוד תמונה שבה ניתן להסתכל כך אל תוך עיניו של דרווין הבוגר, ולחדור דרכן אל אישיותו המיוחדת.

כשהפך ניקולס קופרניקוס סדרי עולם וקבע כי כדור הארץ נע סביב השמש ואינו משמש למעשה כמרכז היקום, הדבר לא היה כרוך מבחינתו במהפך פילוסופי. קופרניקוס, איש כנסייה אדוק, המשיך להאמין ולא ראה סתירה בין מעשה הבריאה ועקרונות הדת לבין עולם שהשמש במרכזו. דרווין, נוצרי מאמין שכמעט הפך לכומר, חולל מהפכה שבמובנה העמוק היתה מרחיקת לכת יותר מזו של קופרניקוס. האדם, נזר הבריאה, אינו אלא יצור ככל שאר היצורים, חלק ממשפחת בעלי החיים שמוצאה מאב קדמון משותף.

התגלית של דרווין חייבה הבנה חדשה של מהות האדם, ובעיקר בחינה מחודשת של האמונה הדתית. צריך לבצע מעשי לוליינות מרהיבים כדי לישב בין אבולוציה באמצעות הברירה הטבעית לבין סיפורי הבריאה. דרווין, איש חכם שלא ידע להעמיד פנים, מגיע בגיל צעיר למשבר אמונה: **״לא בקלות הסכמתי לוותר על אמונתי״**, הוא כותב באוטוביוגרפיה, **״... אבל בהדרגה התחלתי להבין כי הברית הישנה – על סיפורי תולדות־העולם השקריים שבה, סיפור מגדל־בבל, האופן שבו היא מייחסת לאלוהים את דמותו של עריץ נקמן – אינה אמינה יותר מספרים אחרים, למשל של הינדים או ברברים. ככל שאנו יודעים יותר על חוקי הטבע הקבועים, כך נראים הנסים סבירים פחות... אט אט התחלתי לאבד את אמונתי. הרעיון הישן של תכנון הטבע, טיעון שבעבר נראה לי מוחלט, נכשל משעה שהתגלו חוקי הברירה הטבעית. כל מה שיש בטבע הוא תולדה של חוקים קבועים״.**

ב־1840 לערך החלו להשתמש בטכניקת צילום חדישה של ״עותק שמש״. סטודיו לצילום ״דגרוטיפ״ נפתח בלונדון, ובני המעמד הבינוני והגבוה הנציחו עצמם בצילומים ראשונים. דרווין הביא גם את ילדיו להצטלם

התיאוריה הדרוויניסטית הפכה לאחד מאויבי הדת הגדולים. 150 שנה אחרי ״מוצא המינים״ נאבקים כוחות פונדמנטליסטיים, בעיקר נוצרים אבל גם מוסלמים ויהודים, ברעיון האבולוציה והשתלשלות המינים ממוצא משותף באמצעות הברירה הטבעית. הרבה רעיונות מדעיים אינם משתלבים עם סיפורי המקרא, אבל הערעור הדרוויניסטי על מעמדו של האדם כיקיר האל, היצור שנוצר בצלמו ובדמותו, הוא בלתי נסבל בעיני הממסד הדתי.

התיאוריה שלו, הבין דרווין, לא רק מסלקת את אלוהים מהתמונה, אלא עלולה לערער את הסדר החברתי הטוב, שהאצולה האנגלית רצתה להמשיך ולקיים. דרווין לא רווה נחת מרעידת האדמה שחולל. הוא היה אדם ביישן וצנוע, והבין היטב את כאבם של יקיריו, שראו במחקר שלו סכנה למוסר הנוצרי. אשתו, אמה וודג׳וּוד, היתה נוצרייה אדוקה ותמימה. כל חייה חששה כי בגלל מחשבות הכפירה של בעלה הוא יישלח לגיהנום. לחשש שלה היתה משמעות מעשית: היא ובעלה לא יוכלו להיות ביחד בעולם הבא.

״דרווין, נוצרי מאמין שכמעט הפך לכומר, הציע מהפכה שבמובן עמוק היתה מרחיקת לכת יותר מזו של קופרניקוס. האדם, נזר הבריאה, אינו אלא יצור ככל שאר היצורים, חלק ממשפחת בעלי החיים שמוצאה מאב קדמון משותף״

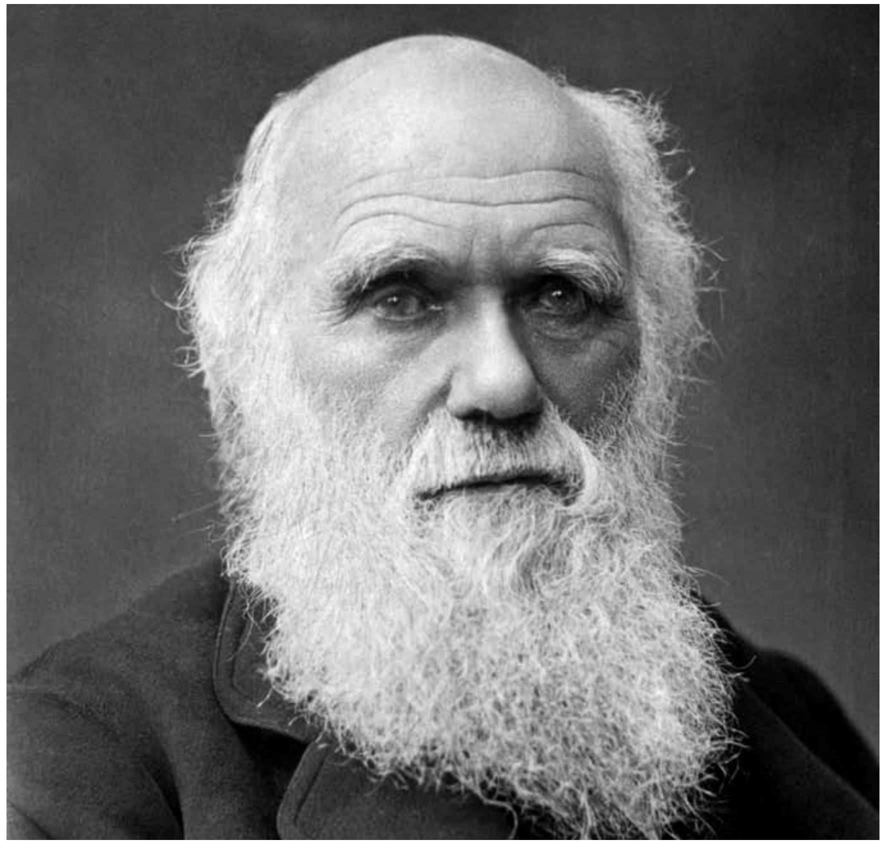
למעלה מ־20 שנה חלפו מהרגע שבו הבין דרווין כי התיאוריה שלו על מוצא המינים והתפתחותם הגיונית, ועד שפרסם את עבודתו. הרבה חוקרים ניסו להסביר את העיכוב. חלק מהם טוענים כי דרווין עמד על המשמעות העמוקה של התיאוריה וצפה את הסערה שהיא עלולה לחולל. בשל אופיו הפשרני ורצונו שלא לחולל מהפכה מנע דרווין את הפרסום, וייתכן שלא היה מפרסם את עבודתו לולא עלה אלפרד וואלס על רעיון דומה. חוקרים אחרים מייחסים את העיכוב למקצוענות חסרת פשרות. דרווין חיפש הוכחות חותכות לכל טיעון וטיעון. הוא ניתח את הבעיות ונקודות החולשה בתיאוריה וניסה להכין תשובות מבוססות לכל טיעון נגדי. שלוש תכונות – קפדנות ומקצועיות, אופי נוח ופשרני, וסבלנות – מאפיינות את עבודתו, התנהגותו ודרך חייו. נדמה לי שתכונות אלו באות לידי ביטוי בתמונת הפרופיל שלו, המוצגת כאן.

״אם הייתי צריך לבחור מילה אחת שמסכמת בעיני את המסר הפילוסופי ב״מוצא המינים״ הייתי בוחר במילה צניעות. התאוריה - ממש כמו האיש - מכריחה אותנו להבין את מקומנו האמיתי ביקום ובטבע. בעל חיים חכם, אינטליגנטי, מצליח, חזק, שולט בעולם, אבל בסופו של דבר אחד מתוך משפחה ענקית של יצורים חיים״

דרווין לא זעזע רק את הממסד הדתי. העולם המדעי שלפני ״מוצא המינים״ אינו דומה כלל לזה שאחריו. דרווין טלטל בעוצמה את אופן החשיבה האנושית. למעשה, קשה לחשוב על התקדמות באחד מתחומי הידע המוכרים לנו כיום – מרובוטיקה, פיתוח תרופות, תכנון אלגוריתמים במתמטיקה, הבנת הכלכלה, התיאוריות הבלשניות המודרניות ועד כינונם וביסוסם של תחומי דעת חדשים כמו פסיכולוגיה אבולוציונית – בלי תיאוריית האבולוציה של דרווין.

קיים ניגוד גדול בין האיש – השקט, הצנוע והביישן – לעוצמת המהפכה שחולל. ״הוא היה מהפכן בעל כורחו״, אומרת ד״ר סמדר רייספלד, ביולוגית מולקולרית ומחברת הספר ״דרווין באיילון דרום״. ״הוא היה צנוע וגלוי ושקוף, ובמיוחד אנושי. כל־כך אנושי, עד שניתן לחוש בכאב, או לפחות בצער שהוא סובל כתוצאה מהסערה שגרם בתפקידו כ׳דרווין איש המדע׳. כאילו דרווין האדם כאב את תוצאות מעשיו של דרווין המדען״.

תיאורית האבולוציה ששינתה את פני המדע מאלצת את האדם להביט מבחוץ על עצמו ולהבין מחדש את מקומו ביקום. ב־150 השנה האחרונות השתמשו רבים בשמו של דרווין, תוך שהם יוצרים וריאציה מעוותת כזו או אחרת של דבריו. אם הייתי צריך לבחור מילה אחת שמסכמת בעיני את המסר הפילוסופי ב״מוצא המינים״, הייתי בוחר במילה **צניעות**. התיאוריה – ממש כמו האיש – מכריחה אותנו להבין את מקומנו האמיתי ביקום ובטבע. בעל חיים אינטליגנטי, מצליח, חזק, שולט בעולם, אבל בסופו של דבר, אחד מתוך משפחה ענקית של יצורים חיים.



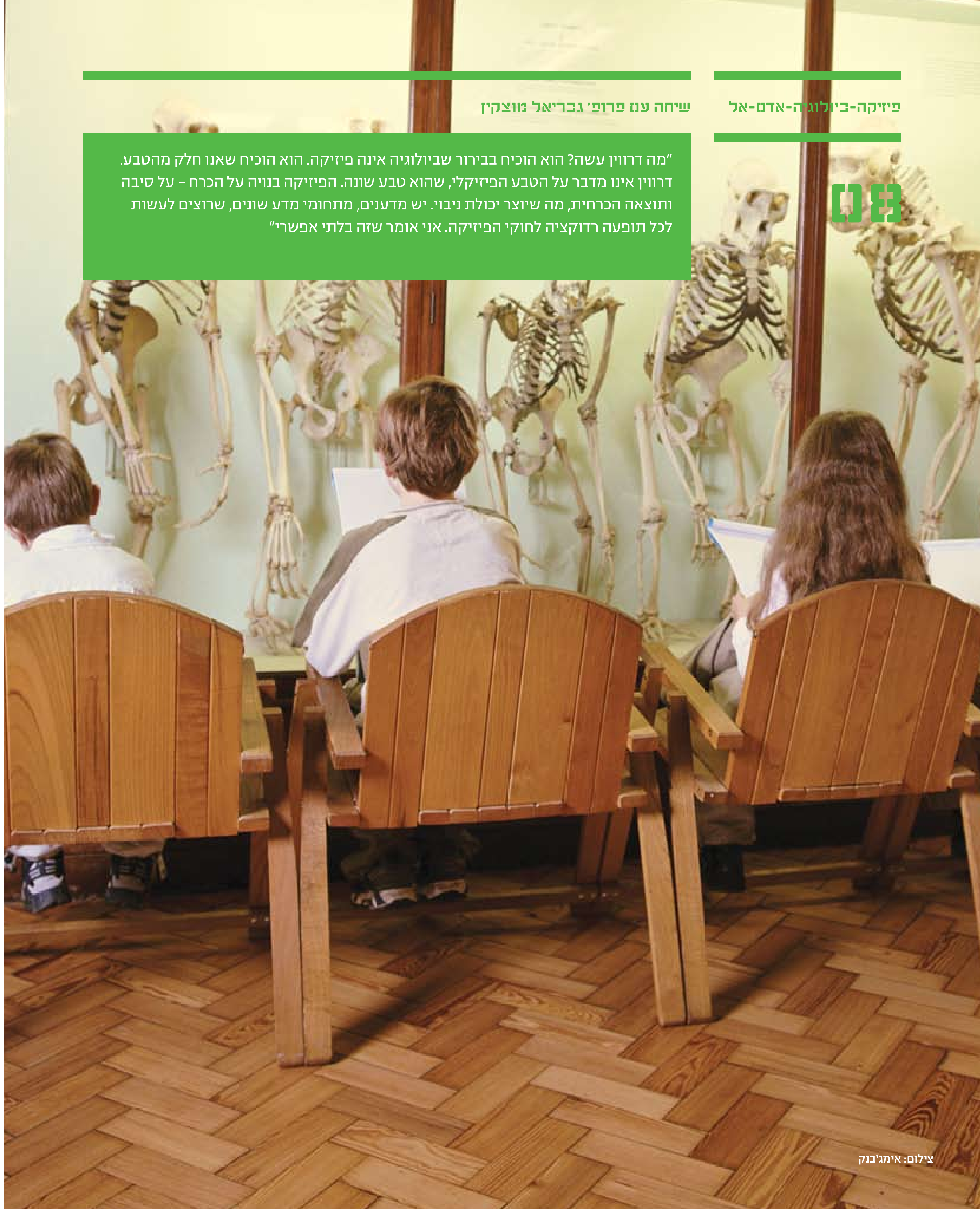
צ׳ארלס דרווין. מבט אל המציאות | תמונה: Visual Photos

כשאני כותב אני ממשיך להביט בדיוקן של דרווין המונח לפני. חלפו 200 שנה מאז נולד, 150 שנה מאז פרסם את עבודתו, 131 שנה מיום מותו. בדיוקן שלו רואים בעיקר עיניים, וכשמסתכלים לתוכן מבחינים במבע. העיניים חכמות, חודרות ובהחלט גם כואבות. עיניים שמביעות תבונה לצד צער. עיניים שאני רוצה לתת כאן את הפרשנות שלי למה שהן מביעות: **אנא, סילחו לי ידידי על כך שהוצאתי אתכם מגן העדן האלוהי הבטוח והנוח והשלכתי אתכם אל ג׳ונגל החיים הטבעי וחסר הסדר למאבק תמידי על גורלכם.** ■

dudig@netvision.net.il

דודי גולדמן הוא הכתב לענייני מדע של העיתון ״ידיעות אחרונות״

"מה דרווין עשה? הוא הוכיח בבירור שביולוגיה אינה פיזיקה. הוא הוכיח שאנו חלק מהטבע. דרווין אינו מדבר על הטבע הפיזיקלי, שהוא טבע שונה. הפיזיקה בנויה על הכרח - על סיבה ותוצאה הכרחית, מה שיוצר יכולת ניבוי. יש מדענים, מתחומי מדע שונים, שרוצים לעשות לכל תופעה רדוקציה לחוקי הפיזיקה. אני אומר שזה בלתי אפשרי"



צילום: אימג'בנק

הרהורים על אדם ואבולוציה

פרופ' גבריאל מוצקין, ראש מכון ון ליר ופרופסור אמריטוס לפילוסופיה באוניברסיטה העברית בירושלים, בשיחה על אבולוציה, אדם ותרבות

■ יש אין־ספור פרשנויות לאבולוציה. אני רוצה להתייחס בקצרה לכמה מהן ולהבהיר מה תורת האבולוציה טוענת ומתארת, ומה לא. אחת הפרשנויות הפשטניות לתיאוריה היא, שהאדם משתלט בתהליך אבולוציוני על הטבע. הנאצים אפילו טענו שיש מדרג ליצורים החיים, ובראשו גזע עליון. במבט על עולם החי הטענה היא שאנו, בני האדם, ממוקמים אי־שם בצמרת עץ החיים, כשמתחתינו כל היצורים האחרים. זה לא נכון.

תורת האבולוציה אינה טוענת לעליונות האדם, אלא מתארת תהליך של מורכבות. האדם אכן מורכב יותר מהחיידק, אבל בעיקרון הוא מורכב כמו הפיל או כמו השימפנזה. מורכבות אינה בהכרח יתרון ואינה מציבה את האדם בראש שרשרת החיים. החיידק הבלתי מורכב יכול להיות מותאם יותר מאיתנו ולשרוד הרבה אחרינו. יש יתרונות ויש חסרונות למורכבות. ערך הקרוי EQ (Encephalization Quotient) קובע את היחס העודף של המוח מעבר לצורכי הפעלת הגוף. אצל בני האדם היחס הזה הוא הגבוה ביותר: היכולת השכלית שלנו גדולה פי־שבעה ממה שנדרש לנו לצורך קיומנו. החיה הבאה בתור היא הדולפין, שעודף הפעילות המוחית שלו הוא פי־ארבעה מצורכי הגוף. מורכבות המוח מועילה ברגעים מסוימים ומזיקה באחרים. מוח גדול פירושו ראש גדול, מה שיכול לגרום לקשיים בלידה. בשלב הינקות המוח רק מפריע ומקשה על השרדות התינוק. במצב ה"טבעי" של לפני עשרות־אלפי שנה מוח גדול היה יכול להוות הפרעה גדולה. עם זאת, המוח סייע לנו לגבש חברה מלוכדת, ולכן גם ביצירת תרבות.

תורת האבולוציה אומרת שלעולם לא נדע ולא נוכל לדעת מה יהיה מחר. איננו יודעים בדיוק מה התכונות שלנו, ואיננו יודעים מה התכונות העדיפות עכשיו או בעתיד. באבולוציה יש שני תהליכים בסיסיים: סלקציה ואדפטציה. כל היצורים, כולל האדם, אינם יודעים לאן הם הולכים. אין גם טעם לנסות ולכוון את התהליך האבולוציוני, מכיוון שאין לנו ידע על הסלקציה וההתאמה הנדרשות.

באבולוציה, אם כן, יש מרכיב משמעותי של קונטינגנטיות, מקריות, ולא של הכרח. אין אפשרות לדעת מה יקרה, מה טוב ומה רע. במצב כזה אנו נאלצים לוותר על דרישה חשובה והכרחית של כל תיאוריה במדע - היכולת לנבא.

מהי בעיניך התרומה המרכזית של דרווין?

מה דרווין עשה? הוא הוכיח בבירור שביולוגיה אינה פיזיקה. הוא הוכיח שאנו חלק מהטבע, אלא שצריך להגדיר איזה טבע. דרווין אינו מדבר על הטבע הפיזיקלי, שהוא טבע שונה. הפיזיקה בנויה על **הכרח** - על סיבה ותוצאה הכרחית, מה שיוצר יכולת ניבוי. יש מדענים, מתחומי מדע שונים, שרוצים לעשות לכל תופעה רדוקציה לחוקי הפיזיקה. הם מאמינים שניתן להסביר הכל כהכרח פיזיקלי שמאפשר ניבוי. אני אומר שזה בלתי אפשרי. גדולתו של דרווין היא בכך, שהוא לא ביסס את הביולוגיה על חוקי הפיזיקה. הטבע - המערכת הביולוגית -

>>

"בתפיסה הדתית - יהודית, נוצרית ומוסלמית, האדם הוצא מסדרי הטבע. הטבע מתקיים סביב האדם. הדתות המונותיאיסטיות יצרו קרע בין האדם לטבע, העלו את האדם והורידו את הטבע לרמות דומם. הדת הקשתה על המאמין לתפוס, שבעלי חיים דומים במובנים רבים לאדם, ושיש להם תכונות כמו לאדם; שהם כמונו - עולם ומלואו"

<< הוא מערכת **שמארגנת את עצמה**. זה לא נכון לגבי הטבע הפיזיקלי. יש טבע פיזיקלי ויש טבע ביולוגי. מפני שהביולוגיה היא מערכת שמארגנת את עצמה, הסיבתיות שלה שונה מזו של הפיזיקה. בפיזיקה הסיבתיות היא של כוחות הפועלים האחד על השני באופן קבוע ולפי חוקים קבועים. בביולוגיה הסיבתיות היא האבולוציה – כלומר, תהליכי הסלקציה והאדפטציה. בפיזיקה אין תהליך בחירה של צד אחד או ישות אחת. אין התמודדות בין ישויות פיזיקליות לבין עצמן או מול הטבע. בביולוגיה הישות מארגנת את עצמה. היא צריכה להתקיים ולדאוג לקיים. בעל חיים יודע לברוח, לאכול, לשרוד, לפחד, לדאוג לעצמו. אין תופעה כזו במערכת הפיזיקלית. אי־אפשר לעשות רדוקציה של הביולוגיה לפיזיקה. החוקים הפיזיקליים אינם טלאולוגיים – הם אינם מכוונים לתכלית מסוימת. החוקים הביולוגיים, לעומתם, הם טלאולוגיים במובן זה שלכל מערכת שמארגנת את עצמה יש תכלית, על אף שהיא אינה יודעת מה התכלית. האדם הוא היצור היחיד שיודע, או חושב שהוא יודע, את התכלית.

אני טוען שיש שלוש (ואם נכניס לצורך הדיון את האל, יש ארבע) רמות ארגון ביקום. בבסיס יש את הפיזיקה. מעליה נמצאת הביולוגיה. על הביולוגיה מולבש האדם עם תכונותיו הייחודיות, ומעל האדם יש את האל. בכל רמה יש חוקים אחרים **ולא ניתן לעשות רדוקציה של רמה אחת לאחרת**.

בפיזיקה החוקים קבועים ויש יכולת ניבוי – יש הכרח פיזיקלי. בביולוגיה אפשר להגיד מה יקרה בתנאים מסוימים: אם יתרחש A, אז יקרה B. אבל זה לא הכרחי כמו בפיזיקה. ברמה האנושית יש כוונות ומטרות ויש אינטנציונליות – התכוונות מודעת, בניגוד לביולוגיה ולאבולוציה. ברמה האחרונה, של האל, אין אנו יודעים, אך אפשר לשער שברמה זו אין הכרח. אל כזה, אגב, תלוי לגמרי באדם, בביולוגיה ובפיזיקה כרמות תומכות.

במעבר מפיזיקה לביולוגיה, מביולוגיה לאדם ומאדם לאל אנחנו מוותרים כל הזמן על ההכרחיות. בכל רמה "גבוהה" יותר יש גם פחות "אמת הכרחית" ויותר חופש פעולה. ברמה העליונה האמת עשויה להשתנות כל הזמן; אולי לאל יש קצב מסחרר של שינוי. לעומת זאת, ברמת הפיזיקה האמת קבועה במידה המירבית.

האם האדם הוא חלק מהטבע – מעליו? בתוכו? באיזה מובן דרווין הציב את האדם כחלק מהטבע?

ודאי שאנו כבני אדם מהווים חלק מהטבע, אבל צריך להגדיר מאיזה טבע. בתפיסה הקלאסית הדברים ברורים: האל ברא את כל היצורים. לפני היות הדת – בתקופה הפגאנית ובמיתוסים הקדומים – ברור היה שהטבע והאדם חד הם; שהאדם שייך לטבע ואינו עולה על בעלי החיים ועל הצמחים שסביבו. בני אדם, בעלי חיים וצמחים היו כולם ברמה אחת. שבטי האינדיאנים בפרו בטוחים עד היום שציפורים מדברות, ושבעלי חיים הם יצורים עם רצונות ופעולות מכוונות ממש כמו האדם.

בתפיסה הדתית – יהודית, נוצרית ומוסלמית, האדם הוצא מסדרי הטבע. הטבע מתקיים סביב האדם. הדתות המונותיאיסטיות יצרו קרע בין האדם לטבע, העלו את האדם והורידו את הטבע לרמת דומם. הדת הקשתה על המאמין לתפוס, שבעלי חיים דומים במובנים רבים לאדם, ושיש להם תכונות כמו לאדם; שהם כמונו – עולם ומלואו.

במובן זה דרווין החזיר את האדם ל"טבע". האדם, לפי דרווין, הוא יצור ביולוגי, עובר את אותם תהליכים העוברים על כל בעלי החיים, וכפוף לחוקי הטבע שפועלים על כל היצורים החיים. דרווין, שהלך בכיוון שונה מהכיוון הדתי, הציע תיאוריה מוצקה שאין לה כרגע שום תחליף.

האדם הוא לא רק אורגניזם חי. הוא חיה חברתית חושבת, בעלת תרבות ושפה. אנו לא רואים תופעות כאלו אצל יצורים אחרים בטבע.

האם התרבות כיצירה של האדם היא חלק מהטבע? אני טוען שלא. אלה הטוענים כמו ריצ'רד דוקינס, שגם תכונות התנהגותיות, חברתיות ומוסריות – כלומר, התרבות שלנו – נבררות באופן דומה לתהליך הברירה הביולוגי, טועים, לדעתי, טעות גסה. דוקינס לוקח את הפרדיגמה האבולוציונית ומשליך אותה על התרבות. אך רעיונות לא מתפתחים בדרך של סלקציה ואדפטציה. אנו לא פועלים באופן כזה, שרק רעיונות המתאימים לסביבה נבחרים או שורדים. זה פשוט לא עובד כך.

אי־אפשר לבודד רעיונות כיחידות. רעיונות אינם שחקנים בטבע. אבולוציה עובדת על יחידים וקבוצות. רעיון אינו תכונה בודדת, הפועלת בטבע ונבררת, ולכן אי־אפשר להשליך מתיאוריית האבולוציה הביולוגית על תרבות ועל התפתחות של תרבות. בתרבות האדם קובע מה טוב ומה רע. הוא בוחר מערכת מוסרית או היררכית, שמשרתת מטרה. לכן תרבות אינה אבולוציונית במונחים של ביולוגיה. יש טוב ורע בתרבות. יש כוונה ויש מטרה.

התרבות שונה מהטבע כי היא יצירת האדם והיא פועלת לפי כללים אחרים – היא מכוונת מטרה. הביולוגיה מושתתת על טלאולוגיה, ואילו התרבות על מטרה בעלת כוונה מודעת, אינטנציונלית. זה לא אותו סוג של התפתחות וסלקציה. בתרבות יש תהליך של ויכוח, שבו האדם בוחר כיוון מסוים ומתפתח, בעוד שהטבע עושה סלקציה שאינה מכוונת ואינה מודעת. ברגע שאדם בוחר או קובע, אנחנו לא בטריטוריה של האבולוציה הדרוויניסטית.

האדם כפוף אמנם לתנאים ביולוגיים, אבל אלה אינם מכתיבים את התרבות. הם קובעים את האילוצים או את הגבולות של התרבות, כמו שהתנאים הפיזיקליים מגדירים או מאפשרים את התנאים הביולוגיים – את החוקים הפועלים על כל יצור חי.

מחוקי הפיזיקה לא ניתן להפיק את חוקי החיים; שאלת היווצרות החיים היא שאלה גדולה ולא פתורה. בני האדם מכוונים למטרה, והם יוצרים לעצמם דברים מכווני מטרה. לעץ או לצמח אין כוונות. לאדם – כן.

דרווין לא רק מחזיר את האדם לטבע. הוא גם מוריד אותו ממעמדו כ"נזר הבריאה". איך משפיע דרווין על תהליכי החילון שמתרחשים במאות ה־18 וה־19 באירופה?

יש שני סוגים של חילון. חילון קדם־דרוויניסטי וחילון דרוויניסטי. מהמאה ה־17 מתחולל שינוי, שבמסגרתו אנשים מעבירים את אמונתם מהאל אל האדם. תהליך החילון בתקופה זו פירושו לאמץ את התפיסה שאנחנו, האנשים, הננו יצורים חופשיים. אנחנו היוצרים, אנחנו הקובעים, אנחנו במרכז. התודעה של האדם הפכה בתקופה זו לתודעה אלוהית כמעט. החילון היה התהליך של הפיכת האדם לאל או קרוב לאל.

דרווין מציע חילון מסוג אחר לחלוטין, ובעצם הפוך לחילון הקודם. הוא אומר שהאדם כפוף לחוקי הטבע, שאין בהם תוכן או משמעות אנושית. תהליך החילון הזה היה קיצוני, ולכן האידיאולוגיות הגדולות של סוף המאה ה־19 והמאה העשרים לא יכלו לקבל אותו במלואו. הדרוויניזם קובע, שהאדם אינו יכול לשפר את מצבו בטבע על־ידי הצגת המטרות והכוונות שהוא רוצה להשיג. הוא לא יודע מה מועיל ומה מזיק לתהליך הטבעי. האדם פועל, אבל פעולותיו משולות לרכישת כרטיס לוטו. הוא משתתף במשחק, אבל לעולם אינו יודע איזה כרטיס יעלה בגורל. החילון של דרווין הוא כפירה באמונה באדם; זהו תהליך חילון אחר לגמרי. כיצור ביולוגי האדם אינו קרוב יותר לאלוהי, אלא הוא בעל חיים אחד מני רבים.

דווקא התרבות שלנו במאה ה־21, התרבות הירוקה של חזרה לטבע, מציגה את האדם בדומה לדרווין – כשווה ערך לבעלי החיים האחרים.

הטענה המודרנית, שאין הבדלים בין אדם לבעלי חיים, יכולה היתה להיווצר מחדש רק בעקבות דרווין. אידיאולוגיה שמדברת על זכויות מלאות לבעלי חיים, על שוויון ערך בין החיה לאדם – היא בעצם חזרה למחשבה הפגאנית על טבע אחיד, שהאדם הוא שווה ערך בו. בניגוד לתפיסות של אגודות למען בעלי חיים, אין כאן עניין מוסרי. מוסר הוא המצאה של האדם, ולכן אי־אפשר לדבר על הטבע במושגים של מוסר. זה טוב או רע לאכול חיות? מוסר הוא יצירה שלנו. בטבע, אכילת חיות זו מציאות, חלק ממלחמת הקיום וההישרדות.

אין שוויון בין אדם לחיות בטבע, או עליונות שלו עליהן. יש שונות, שהיא בלתי ניתנת להשוואה. לא צריך לדבר במושגים של שוויון או עליונות, אלא במושגים של שונות. לכל יצור, לכל גזע ומין, יש נישה משלו. >>

פרופ' גבריאל מוצקין: "לעולם לא נדע איזה כרטיס יעלה בגורל" | צילום: אנטולי מיכאלו

<< במובן זה היהדות מציעה הסתכלות תועלתנית, ולא מוסרית. היא אומרת, תצוד למען האכילה, אבל לא למען התענוג. אם תצוד מעבר לצרכיך תכלה את מאגר בעלי החיים, ואז לא יהיה לך בשר ולא תוכל להתקיים. משום כך יש למקם את השאלה של היחס לחיות לא בהקשר המוסרי, אלא בהקשר של איך צריך לחיות ולשרוד בטבע.

לחיה לא אכפת אם טורף אותה אדם או חיה אחרת. אי־אפשר להשליך מוסר אנושי על בעלי חיים. לא נכון לאמץ גם גישה הפוכה – לקחת את חוקי הטבע ולהגיד שהם קובעים או משליכים על המוסר האנושי, או על התרבות, או על כללי ההתנהגות שלנו. הטבע אינו מערכת מוסרית.

יש טענה שאנחנו בונים, או צריכים לבנות, את המערכת המוסרית שלנו בהתאם למצב בטבע. אם אבולוציה היא דרך הטבע, האם המוסר צריך לעמוד בהתאמה לתהליך האבולוציה?

מערכת מוסרית אנושית צריכה להתחשב במה שטוב לאדם. מה טוב לאדם – זו כבר שאלה לא פשוטה. בוודאי שצריך להתחשב במה שקורה בטבע ולא להרוס אותו, אבל הסיבה אינה מוסרית, אלא מעשית. הרס הטבע יביא להרס האדם. אם נשרוף את כל העצים, לא נחיה הרבה זמן.

תופעה כמו הומוסקסואליות אולי נוגדת את האבולוציה, אם המטרה הסופית היא יצירת צאצאים. באותו מובן, ואפילו בצורה חריפה יותר, הנזירות היא התנהגות "נגד הטבע". הנזירים מחויבים לנדר הפרישות, שהוא בוודאי נגד האבולוציה. אז מה? האם אין מקום מבחינה מוסרית לדברים כאלה? נאסור על קיומם של נזירים ונהרוג אותם?

אי־אפשר להתייחס להומוסקסואליות או לנזירות כאל משהו טבעי או לא טבעי, מוסרי או לא מוסרי. צריך לראות בתופעות אלו עוד צורת התנהגות, עוד דרך ביטוי של האדם מבין מיליוני צורות התנהגות.

אנחנו, כאמור, לעולם לא יודעים מה טוב באמת להישרדות או לברירה הטבעית. אם ניקח, לדוגמה, הורים לשני ילדים שמשקיעים בהם מאמץ כלכלי גדול, לעומת הורים ל־10 ילדים שמשקיעים בכל אחד פחות – מה עדיף? מה בהתאם לטבע? מה תורם יותר להישרדות? אנחנו לא יודעים ולא יכולים לדעת. אני אומר שהתרבות האוכלוסייה בעולם בקצב הנוכחי תביא לאסון. כלומר, תהליך ריבוי הצאצאים עצמו – לכאורה, מטרת העל של האבולוציה – יכול להיות מסוכן להישרדות המין.

מערכת מוסרית, כמו תרבות, היא יצירה של אדם כתוצאה מהאבולוציה, אבל היא אינה אבולוציונית בתוכה. כבר לפני 2,000 שנה נוצרה שירה טובה, ממש כמו היום. צריך ללמוד לעבוד בתוך סדר פונקציונלי, ורק אז יתאפשר להגיע לשפה ולתרבות. שיר אהבה תלוי בכך שיהיו יחסים בין שני בני זוג. היחסים חייבים היו להתפתח לפני השירה. בלי מין והזדווגות לא תיווצר שירה של אהבה בין גבר לאישה. זה בדיוק היחס בין תרבות לביולוגיה. האבולוציה הביולוגית היא תנאי הכרחי לתרבות, כמו שיחסי מין הם תנאי הכרחי ליצירת שירי אהבה.

האידיאולוגיות הגדולות של המאה העשרים לקחו את תיאוריית האבולוציה והשתמשו בה לצורכיהן. הן טענו שהאבולוציה מוליכה לקראת משהו שהוא מוצלח וסופי .

אני לא חושב שיש כוחות היסטוריים שמכוונים לקראת מטרה, אבל נכון שגם מארקס וגם היטלר חשבו שיש כוחות היסטוריים שפועלים, ושיש כיוון בהיסטוריה. מארקס חשב, אולי גם בהשראתו של דרווין, שיש מלחמה בין מעמדות, שבסופה נגיע בצורה בלתי נמנעת למשהו כמו "סוף ההיסטוריה" עם ניצחון הפרולטריון. כשזה יקרה נגיע בעצם למצב אידיאלי, והמאבק ייגמר. גם היטלר חשב שבסופו של מאבק בין קבוצות גזע של בני אדם מין אחד ינצח וישלוט על כולם, והגזע העליון הזה הוא הגזע הארי.

אצל דרווין זה לא אפשרי ולא קיים. המאבק והתהליך האבולוציוני פתוחים. אצל דרווין אין אפשרות לצאת אל מחוץ לתהליך או להביא אותו לסיום. כל הרעיונות האוטופיסטיים – אלו שמציגים בסוף תוצאה אידיאלית ומושלמת כמו המארקסיזם והנאציזם – הם בהכרח לא רעיונות דרוויניסטיים, למרות שהם לקחו מהדרוויניזם הרבה מושגים או חלקי הסברים. כל האוטופיזמים הדתיים והחילוניים אינם הולכים עם האבולוציה המתמדת של דרווין. הליברליזם קרוב בהרבה לתיאוריה של דרווין מבחינה זו שהוא אינו מציג אוטופיה שהיא יציבה וסופית, אלא יותר מצב של שיווי משקל משתנה.

השפה היא אולי שלב מכריע באבולוציה של האדם. בצורתה הנוכחית, היא יצירה אנושית בלעדית. מה אנחנו יודעים על מקור השפה והתפתחותה, ואיך היא משפיעה על האבולוציה של האדם?

אנחנו לא יודעים איך התחילה להתפתח השפה. ברור שקודם כל היה תהליך פיזיולוגי שאיפשר את הדיבור – את היכולת להוציא מילים וצלילים מאורגנים. הפיזיולוגיה הזו לא נוצרה כתוצאה מעצם הדיבור, אלא מסיבה שקדמה לו. אנחנו חושבים שייתכן כי השפה התפתחה כטפיל על תהליך אחר כלשהו, שאיפשר בעקיפין את הדיבור.

להבנתי, מקור השפה הגיע מבנייה ומשימוש בכלים. אחרי השלב הזה התפתחה שפה. לכל בעלי החיים יש דימויים בראש. לכל בעלי החיים יש מטפיזיקה. השפה, בשלב הראשון, אינה העשרה של המציאות. להפך. היא מורידה את הדימויים למשהו פשוט ומובן. יש טריגר פונקציונלי לקומוניקציה שאנחנו מעמיסים עליו משמעויות. אנחנו נותנים משמעות לפעולות באמצעות השפה. שירה ואמנות לא היו מתהוות ללא קיומה של שפה, שנוצרה למטרות פונקציונליות. אנו נותנים משמעות עודפת למעשים פונקציונליים. זה תהליך אנושי.

השפות העתיקות שאנו מכירים מורכבות יותר מבחינה מבנית מהשפות המודרניות. ההתפתחות פועלת כאן לאו דווקא לפי עקרונות דרוויניסטיים. איתור היחס בין הדברים הוא בעיה מרכזית בשפות קדומות. לעומת זאת, תפקידן המרכזי של השפות המודרניות הוא העברת מידע.

לכל אדם יש את היכולת ללמוד שפה; יכולת זו היא בגנים. אך לימוד

שפה בצורה מושלמת אפשרי רק עד גיל 8. מבוגרים שלא דיברו בילדותם, יכולים ללמוד רק שפה פשוטה ביותר.

מקרה מפורסם, ששימש נושא למחקר על התפתחות שפה, הוא מה שאירע לג'יני, ילדה אמריקאית בת שנתיים, שאביה כלא אותה במשך 20 שנה בארון, ולאורך כל התקופה הזו היא לא דיברה. כששוחררה בגיל 22 התברר כי ג'יני הצליחה ללמוד להגיד רק משפטים פשוטים מאוד. היא היתה מסוגלת לבטא במדויק הרבה דברים, אבל לא הצליחה לרכוש את מבנה השפה שבו אנו משתמשים. לדור הבא של ג'יני, לבת שלה, לא תהיה בעיה ללמוד שפה. הילדה תלמד לדבר ותשתמש בשפה במבנים התחביריים המקובלים.

תיאור הפרשה והמחקר שנעשה על ג'יני מופיע בספר המצוין :
Language & Species, Derek Bickerton, University of Chicago Press, 116-118

יש ויכוח בפילוסופיה של המדע על אופי המדע: אבולוציה של קדמה, אבולוציה ללא כיוון, או קפיצות והחלפות נוסח תומס קון.

מדעי הטבע עוסקים בטבע. הפיזיקה, הכימיה והביולוגיה עוסקות בטבע, ולכן הידע אינו המצאה אנושית, אלא עיסוק בדברים אובייקטיביים. יש שאלות שהמדע עונה עליהן, ושאלות שהוא אינו מסוגל לענות עליהן. אני חושב שהשאלות בהן הוא מטפל, או יכול לטפל, עוסקות במציאות פיזית עם חומר וחוקים. המדע יכול להגיד לנו דברים רבים על הטבע, והשערותיו אמיתיות או שקריות. צריך לדעת רק במה המדע עוסק, ולהבין למה הוא מסוגל לתת תשובה.

המדע פרוגרסיבי. הוא מתקדם, משתפר, מסביר טוב יותר את הדברים שהוא יודע להסביר. איינשטיין הוא מעל ניוטון, וניוטון הוא מעל תלמיי, אבל הם אינם מבטלים האחד את השני. כל אחד מהם יכול להיות נכון וטוב לצורך מסוים ולהסבר מסוים. כל אחד מהם מסביר משהו נוסף על האחרים. מדעי הטבע בנויים על שכבות שמבטלות את הפרדיגמה הקודמת, אבל לא את המדע הקודם. צריך להסתכל על המדע כעל "בבושקה", בובה רוסית שבתוכה בובות רבות. כל שכבה מסבירה באופן אחר, ובמובן מסוים טוב יותר, את השכבה הקודמת.

באופן תיאורטי, אני מאמין שאנו תמיד מתקרבים אל ה"אמת", אך האמת הזו אינה אחת. צריך להגדיר את המהות שלה ולהסכים עליה. מה זו האמת הזו? יש רמות שונות, ולכל אחת מהן אמת משלה. הרמות הללו אינן מתכנסות לאמת אחת, הנכונה בכל מצב. אמת ברמה אחת אינה האמת ברמה אחרת. יש אמת בביולוגיה, למשל – הברירה הטבעית. אבל האמת הזו שונה מהאמת בפיזיקה. הן אינן מתכנסות. הביולוגיה אינה מתכנסת לפיזיקה, האדם אינו מתכנס לביולוגיה. **אי־אפשר לעשות רדוקציה של כל התופעות מהאחת לשנייה ולמצוא נוסחת אמת לכולן**. לכל רמה ורמה יש את האמת שלה. בכל רמה יש אמת שאנו מתקרבים אליה, אבל איננו יודעים אם נגיע ומתי. ההבנה הגדולה היא, שאי־אפשר לעשות רדוקציה של הכל לאמת אחת. ■

קארל מילר / צ'ארלס דרווין פנים אל פנים עם הַתּוֹם

עַל אִי חֲלוֹמוֹת, אִיגוּאַנָּה גְּדוֹלָה
עָסְקָה בַּחֲפִירַת-מְחִלָּה שְׁטָחִית,
מְקַרְצֶפֶת בְּטָפְרֶיהָ אֶת עֲפַר אַחַה"צ הֶחָם.

אָדָם סַקְרָן הִתְבּוֹנֵן בָּהּ וְאָז
מָשַׁךְ בִּזְנָבָהּ כְּדֵי לְגָרְרָהּ מֵהַחוֹר,
וְאִלּוּ הִיא סָבָה לְאִטָּהּ, חוֹבֶטֶת בֶּעָפָר בְּכַפּוֹת רַגְלֶיהָ,
הֵרִימָה אֶת קְדוֹמַנִּיּוֹתֶיהָ וְהִסְתַּכְּלָה בְּפָנָיו
כְּמוֹ הָיְתָה מֻפְתַּעַת, כּוֹעֶסֶת וּנְבוֹכָה.

הוּא הִבִּיט בַּעֵינַיִם הַמַּבְרִיקוֹת מְמַצְמְצוֹת אוֹר שֶׁמֶשׁ
עַל רֹאשָׁהּ הַמְּעֻטָּר, הַקַּשְׂקַשִּׂי, וְהִרְהֵר כֵּיצַד,
מְשֻׁלֶּלֶת כָּל פַּחַד אִינְסְטִינְקְטִיבִי מִבְּנֵי-אָדָם,
הֵגִיבָה בְּסַקְרָנוּת
בִּמְקוֹם בְּאִיּוּם אוֹ בִּמְנוּסָה מְתֻכְנָתִים.

הִלְטָאָה שָׁבָה לַחְפֹּר אֶת חוֹרָהּ;
וְכָךְ בִּטֵּא הַמַּדְּעָן בְּמִלִּים אֶת תְּגוּבָתָהּ
בִּרְשִׁימוֹתָיו, "מַה דָּחַף אוֹתְךָ לִמְשֹׁךְ בִּזְנָבִי?"

(תרגם: משה דור)

המשורר האמריקני קארל מילר נולד בקליבלנד, אוהיו, ב־1949. סיים את לימודיו בביולוגיה באוניברסיטת קייז ווסטרן. מתגורר בקליפורניה.

דרווין - למארק - אבולוציה

14

חוה יבלונקה / איורים: רות גוילי

"אחת התגליות המעניינות ביותר בתחום חקר התורשה וההתפתחות בשנים האחרונות היא הגילוי שעקות – תנאים ומצבים כמו טמפרטורות קיצוניות, רעב, הרעלה, שינויים הורמונליים מפליגים – שגורמות קשיים ליצורים חיים, מעוררות שינויים אפיגנטיים, ושינויים אלו יכולים לעבור בתורשה"

אבות אכלו בוסר ושיני בנים תקהנה

הטענה כי תכונות נרכשות ונלמדות עוברות בתורשה נזרקה מזמן אל פח האשפה של מדעי החיים. תורשה שאינה גנטית לא רלוונטית לאבולוציה, טענו הניאו־דרוויניסטים. הם טעו. מערכות שלמות של תורשה פועלות מחוץ לגנים וקובעות את כיוון האבולוציה. חוה יבלונקה מפנה זרקור אל התורשה האפיגנטית

■ 150 שנה חלפו מאז פרסם צ'ארלס דרווין את ספרו "מוצא המינים", אשר שינה את פני הביולוגיה ובעצם את פני התרבות והחברה המערבית. בשנת המאתיים להולדתו נערכים הביולוגים, ההיסטוריונים והפילוסופים של המדע לפסטיבל דרווין: במאות כנסים ובאלפי מאמרים יעסקו מדענים ופילוסופים בהערכת ההתפתחויות במדעי החיים, בתמורות שעברה התיאוריה הדרוויניסטית מאז נוצרה, ובקשיים ובהתקפות שהיא מתמודדת מולם כיום.

התיאוריה הדרוויניסטית, או "דרוויניזם" כפי שהיא מכונה, נשענת על שני עמודי תווך מרכזיים: הראשון הוא הנחת ההשתלשלות (תוך כדי תמורות) ממוצא משותף, שהביאה בהדרגה למגוון הפנטסטי של צורות החיים על פני כדור הארץ. הנחה זו מבוססת על מספר עצום של ראיות תומכות מתחומי מדע שונים, מהגיאולוגיה ועד הביולוגיה המולקולרית. הבסיס לתיאוריית המוצא המשותף הינו כה איתן, עד כי ניתן להשוותו לתיאוריה כי כדור הארץ מסתובב מסביב לשמש. אין זה מפתיע כי שנים מעטות בלבד לאחר שהציג דרווין ב"מוצא המינים" את תיאוריית המוצא המשותף ואת הראיות לה, היא התקבלה על דעת הרוב המכריע של חוקרי הביולוגיה למרות הקשיים הרגשיים־דתיים שהעמידה בפניהם. תיאוריית ההשתלשלות ממוצא משותף היא אפוא ההנחה כי **אבולוציה מתרחשת** – לחיים יש היסטוריה התפתחותית.

עמוד התווך השני של הדרוויניזם עוסק במנגנון השינוי ההיסטורי־אבולוציוני. דרווין טען כי הברירה הטבעית היא המנגנון החשוב ביותר המסביר הן את המגוון האדיר של המינים והן את ההתאמות המופלאות של איברים לתפקידיהם ושל יצורים לסביבתם. מנגנון הברירה הטבעית הוא פועל יוצא של כמה תכונות בסיסיות ביותר של יצורים חיים והעולם שבו הם מתקיימים:

התרבות: יצורים חיים מעמידים צאצאים.

תורשה: צאצאים דומים בדרך־כלל להוריהם יותר מאשר לפרטים אחרים.

שונות: בין הפרטים קיימים הבדלים תורשתיים (וריאציות תורשתיות) רבים, כולל וריאציות תורשתיות המשפיעות על יכולתם להתרבות, יחסית לפרטים אחרים המצויים בסביבתם.

<<

תחרות והתאמה לסביבה: יכולת ההתרבות של טיפוסים שונים תלויה בחוסנם ובפוריותם, בתנאי החיים שלהם, ובעיקר – ביצורים עימם הם מתחרים על המשאבים המוגבלים אשר בסביבתם. פרטים שיש להם מסיבה כלשהי יתרון על אחרים, יעמידו יותר צאצאים.

צירוף עובדות בסיסיות אלו הוא שיוצר את הברירה הטבעית שבאמצעותה מתפתח הפרט ונוצרים מינים. "מוצא המינים" מציג מבנה תיאורטי מופלא וברור, אך על מנת לצקת בו תוכן ספציפי יש לאפיין, להגדיר ולהבין בכל מקרה ומקרה את התהליכים העומדים מאחורי כל מרכיבי מנגנון האבולוציה. כיצד מתרחשים תהליכי ההתפתחות והרבייה? כיצד נוצרות וריאציות? מהם תהליכי התורשה? אילו וריאציות תורשתיות קיימות? מהן התכונות העוברות ברירה טבעית? מיהו המוטב, או המוטבים, של הברירה הטבעית?

150 שנה חלפו, ומרבית המחקרים מחזקים את בסיס התיאוריה הדרוויניסטית ואת תקפותה. אולם ככל תיאוריה מדעית, ובניגוד לדוגמה דתית, הדרוויניזם עבר, ועודנו עובר, תמורות רבות. הגילויים המדעיים בתחומי חקר התורשה, ההתפתחות, האקולוגיה, הגיאולוגיה, הביוכימיה, הביולוגיה המולקולרית והמחשב הרחיבו והעשירו את תיאוריית האבולוציה. תהליכים ומנגנונים חדשים זכו למקום של כבוד, ואחרים "גורשו" מהמחקר ומגוף הידע הלגיטימי לפחות לתקופת־מה. באחד התהליכים הללו, שלהערכתי הוא מרכזי להבנת האבולוציה, אני רוצה להתרכז במאמר זה.

תורשה רכה מול תורשה קשה

זה היה ויכוח מדעי מר וממושך. בסיומו הודחה מהדיון במדעי החיים ובביולוגיה הטענה שרווחה עד תחילת המאה שעברה, כי **תכונות הנרכשות במהלך חיינו יכולות לעבור בתורשה מדור לדור**. הנחת האבולוציה באמצעות תורשה של תכונות נרכשות כרוכה בשמו של הביולוג הצרפתי בן המאה ה־18 ז'אן בטיסט למארק. חמישים שנה לפני פרסום "מוצא המינים" העלה למארק את הרעיון, כי מגוון צורות החיים הוא תוצאה של השתנות הדרגתית לאורך ההיסטוריה מצורות חיים פשוטות ביותר, אשר התארגנו באופן ספונטני מחומר דומם, ועד האדם עצמו. למארק סבר כי ההיסטוריה של החיים מונעת על־ידי שני סוגי תהליכים: הראשון, נטייתם של יצורים חיים להגיב לסביבה על־ידי ארגון עצמי הכרוך בעלייה (בלתי נמנעת, לדעתו) במורכבות, ועל־פי פרשנויות רבות מוביל לקידמה, כולל במוסר האנושי. התהליך השני הוא הורשה של תכונות נרכשות והצטברותן האיטית.

זה המקום לציין כי בשנת 2009 ימלאו גם 200 שנה לפרסום ספרו הגדול של למארק, שדן לראשונה באופן שיטתי ברעיון האבולוציה – "הפילוסופיה הזואולוגית"

שתי הטענות הללו של למארק נדחו במהלך המאה ה־20. טענת ה"קידמה" לא היתה מקובלת על דרווין וממשיכיו, שלא ראו כיוון ערכי באבולוציה. ההנחה כי תכונות נרכשות עוברות בתורשה סולקה למעשה בבושת פנים מהדיון המדעי, ותומכיה הוצגו כבורים. תכונות נרכשות, כלומר תכונות שנרכשו במהלך חיי הפרט (כמו העדפות מזון מסוימות, שהן תוצאה של הרגלים שרכש), אינן יכולות לעבור בתורשה, כך נטען, ואינן לוקחות חלק בתהליך האבולוציה. נראה היה, לאור הידע שהצטבר במחצית הראשונה של המאה ה־20 על התורשה, ועוד יותר לאור הידע המאוחר יותר על ה־DNA, כי אין מנגנון אפשרי להורשה כזו, וכי אין כל ראיות לקיומה.

שתי עכברות זהות מבחינה גנטית ושונות זו מזו מהבחינה האפיגנטית. העכברה הצהובה מביאה לעולם יותר צאצאים צהובים, ואילו החומה – יותר צאצאים חומים־אפורים. כלומר, ההבדלים האפיגנטיים עוברים בתורשה. ניתן להשפיע על תכונות הצאצאים אם מאכילים נקבה צהובה במזון המכיל חומצה פולית

הורשה של תכונות נרכשות משמעה כי התגובות ההתנהגותיות של הפרט לסביבתו, השימוש או חוסר השימוש שהפרט עושה בגופו בעקבות התמודדותו עם הסביבה, המזון שהוא אוכל, תגובתו לשינויים באקלים או לאתגרים חדשים אחרים, עוברות בתורשה לצאצאיו. סוג זה של תורשה, אשר כמעט כל חוקרי הטבע זה אלפיים שנה (מאז תקופתם של ההיפוקריטיים) הניחו את קיומו, כונה "**תורשה רכה**". בבסיסו עמדה ההנחה, שאותם גורמים או תהליכים פנימיים שגורמים לדמיון בין הורים וצאצאיהם ניתנים לשינוי – ל"לישה" – על־ידי תנאי הסביבה החיצונית בתיווך התנהגות הפרט.

דרווין קיבל סברה זו. גם הוא סבר כי התורשה רכה מטבעה, אולם המקום שהקצה להורשת תכונות נרכשות בתיאוריית האבולוציה שלו היה משני. לדעתו, יהיה אשר יהיה מקור הווריאציה התורשתית (והוא לא ידע מה מקורה וכיצד היא מועברת בין הדורות), המנגנון שאחראי לעיצוב ההתאמות של יצורים לסביבתם הוא הברירה הטבעית: ה"אישור" או ה"פסילה" של הווריאציה על־ידי סביבת החיים של היצור החי.

סיבות רבות היו לדחיית ההנחה כי קיימת הורשה "רכה". הניסויים הגנטיים שנעשו בראשית המאה ה־20 ניטרלו את השפעת הסביבה ככל האפשר. כמו כן, הנסיינים, שהמשפיעים ביותר ביניהם היו זואולוגים, בחרו לערוך את הניסויים הגנטיים שלהם בבעלי חיים אשר ההפרדה בין תאי הרבייה ותאי הגוף שלהם היא מוקדמת מאוד, ותאי הרבייה שלהם "מוגנים" בדרך־כלל מפני השפעות הסביבה. שיטות עבודה אלה, ובחירה כזו של מושאי הניסויים הגנטיים, לא אפשרו בחינה רצינית של העברת תכונות נרכשות ועוררו ספקות באשר לעצם קיומה. יתר על כן, היעדר קיומו של מנגנון תאי סביר, ולו גם היפותטי, שיכול להסביר הורשה "רכה" של תכונות נרכשות, היה אף הוא בין הסיבות המדעיות להסתייגות מהורשה של תכונות נרכשות.

היו גם סיבות חברתיות־פוליטיות. בברית־המועצות שלפני מלחמת העולם השנייה, ועוד יותר בזו שלאחריה, השתלט על חקר התורשה האגרונום טרופים ליסנקו, אשר ראה בתורשה ה"מנדלית־כרומוזומלית" המקובלת סטייה בורגנית. ליסנקו סבר כי התורשה אינה מבוססת על גנים, וכי הסביבה משפיעה תמיד על התורשה. גישתו הרודנית של החוקר, חביבו של סטלין, הביאה להרס המחקר הגנטי המפואר בברית־המועצות ולפגיעה בחייהם ובעבודתם של גנטיקאים סובייטים. בנוסף, הניסויים שערך ליסנקו להוכחת גישתו היו חסרי ערך מדעי ברובם. הדה־לגיטימציה לגישת ליסנקו במערב גררה דה־לגיטימציה של ההנחה הכללית שיש הורשה רכה, והמלחמה הקרה, יחד עם המקרתיזם ששלט בארצות־הברית, הביאו לפסילה גמורה של אפשרות זו, שנראתה מפוקפקת הן מבחינה מדעית והן מבחינה פוליטית.

ליסנקו חיסל למעשה את המחקר הגנטי המדעי בברית־המועצות. הניסויים שערך במטרה להוכיח את התיאוריה שלו, התגלו כחסרי בסיס. התעמולה הקומוניסטית המשיכה להלל ולשבח את ליסנקו גם בשעה שהתיאוריה לא עמדה בשום התאמה למציאות בשטח, במיוחד בתחום הגידולים החקלאיים

היתה זו הסינתזה המודרנית של שנות ה־40 של המאה ה־20, שהביאה באופן שנראה בזמנו סופי, לסילוקה של הנחת ההורשה של תכונות נרכשות מן התיאוריה האבולוציונית. הסינתזה המודרנית קשרה בהצלחה רבה את הדרוויניזם לגנטיקה המנדלית ולשינויים התורשתיים המתרחשים בתוך אוכלוסיות, ומאוחר יותר איחדה את כל אלה עם גילויי הביולוגיה המולקולרית. היתה זו סינתזה מרשימה, מתוחכמת ורחבה, ששלטה ברמה והדריכה את הבנת האבולוציה בשישים השנים האחרונות. היא מבוססת הן על הנחות ביחס לכוחות הפועלים באבולוציה והן על הנחות ביחס למה **שאינו** אפשרי. הנחת ההורשה הרכה אינה הכרחית, ולמעשה כלל **אינה אפשרית**, במסגרת הסינתזה.

הנחות שליליות אלו של הסינתזה התיאורטית המובילה בחקר האבולוציה הן שמאותגרות היום, בשחר המאה ה־21. ברצוני להציג כאן את ההנחות המקובלות בתחום התורשה – אחת מאבני הבניין של התיאוריה האבולוציונית – ולהציג מולן את האתגרים שמעמידים מחקרים חדשים מתחומים שונים של הביולוגיה.

אבולוציה בארבעה מימדים

גרסת הסינתזה המודרנית מאפיינת את השליש האחרון של המאה ה־20. הגרסה, שמופיעה עדיין בספרי לימוד על האבולוציה, מגדירה את התורשה במונחים של גנים, המורכבים מרצפים של DNA. ההנחה היא כי **כל ההבדלים** התורשתיים בין פרטים מקורם באירועי הפרדה ושיחלוף בין מולקולות DNA בעת הרבייה המינית, כמו גם מיני "תקלות" (מוטציות) ב־DNA. על־פי גרסה זו, **הגנוטיפ**, שהוא הפוטנציאל התורשתי של היצור שטמון בסלילי ה־DNA, הוא זה העובר בתורשה. מה שקורה לפרט בתהליך ההתפתחות שלו (למשל, מחלה שהוא מפתח עקב חשיפה לחומרים רעילים בסביבה) אינו יכול להיות מועבר לדורות הבאים, ולכן "תורשה רכה" אינה בגדר האפשר. **הפנוטיפ** הוא הביטוי בפועל של הפוטנציאל הגנטי. הדרך שבה הוא מתממש (למשל, המחלה הסביבתית שמפתח הפרט) היא התכונות עצמן, ואלו אינן עוברות בתורשה.

בנוסף, שוללת הסינתזה המודרנית שינויים גדולים ופתאומיים באבולוציה: לשינויים התורשתיים ב־DNA יש השפעה זעירה על תכונות הפרט ועל סיכויי ההתרבות שלו, והאבולוציה היא לכן הדרגתית ביותר.

"הורשה של תכונות נרכשות משמעה כי התגובות ההתנהגותיות של הפרט לסביבתו, השימוש או חוסר השימוש שהפרט עושה בגופו בעקבות התמודדותו עם הסביבה, המזון שהוא אוכל, תגובתו לשינויים באקלים או לאתגרים חדשים אחרים עוברות בתורשה לצאצאיו. סוג זה של תורשה מכונה תורשה רכה"

"אם מספר הווריאציות האפיגנטיות (שאינן מתרחשות בגנים) בטבע גדול כפי שרומזים לנו ממצאי המחקר במעבדה, ואם אכן, כמו במעבדה, חלק מהווריאציות מושרה על־ידי הסביבה, כי אז שינוי אבולוציוני משמעותי יכול להתרחש ללא כל שינוי ב־DNA, ושינוי כזה יכול להיות מהיר ולהשפיע על מספר רב של פרטים מהאוכלוסייה. האבולוציה עשויה, אם כן, להיות מהירה מאוד!"

שינויים גדולים (למשל, הופעה של חידושים גדולים, כמו כנפיים) אינם אלא תוצאה של הצטברות איטית ביותר של שינויים בתדירויות גנים המתרחשים **בתוך** אוכלוסיות. שינויים גדולים ומהירים באבולוציה הינם נדירים ואין להם חשיבות כללית. וריאציות קטנות השפעה ועיוורות ב־DNA הן הבסיס לתורשה – וניתן לגזור את האבולוציה כולה מתוך השינויים בתדירויות הגנים באוכלוסיות.

גישה זו היא בסיס לתיאוריית "**הגן האנוכי**" של ריצ'רד דוקינס, הרואה את התורשה והאבולוציה כולה במונחי גנים. הגנים, על־פי דוקינס, הם יחידות התורשה, הברירה הטבעית והאבולוציה, והם המוטבים האמיתיים של הברירה הטבעית. הפרט אינו אלא נשא זמני של גנים, שדה המשחק של פעולותיהם, תוצר האבולוציה שלהם. כפי שנראה, יש להנחות אלה גם נגיעה מסוימת להורשה של תכונות נרכשות, למרות שאין בין ההנחות קשר הכרחי.

במהלך עשרים השנים האחרונות טענו מריון לאמב ואנוכי כנגד גישה רווחת זו, ונתנו ביטוי לגישה זו בספרנו "**אבולוציה בארבעה מימדים**", היוצא לאור בעברית בימים אלה. התורשה הביולוגית, לטענתנו, אינה מצטמצמת בשכפול ובהעברה של DNA. **יש וריאציות מורשות אשר מקורן אינו בשינויים ברצף הבסיסים של ה־DNA, ווריאציות אלה יכולות אף הן להוות חומר גלם לאבולוציה בדרך הברירה הטבעית**.

התהליכים האחראים לסוג זה של תורשה מכונים תהליכים אפיגנטיים. **אפיגנטיקה** (ביוונית, "מעל הגנטיקה") הוא תחום המחקר העוסק במנגנונים הגורמים לשינויים בתכונות פרטים, משלב הביצית המופרית ועד השלב הבוגר. אלה שינויים שאינם נובעים משינוי ברצף ה־DNA, אלא מגורמים אחרים, שעליהם נרחיב בהמשך. שינויים אלה יכולים לעבור בתורשה.

תורשה אפיגנטית (שהיא חלק מתחום האפיגנטיקה) עוסקת במנגנוני התורשה (או הבנייה מחדש) שמעבירים את השינויים (וריאציות) בפעילות התא, שלא נגרמו כתוצאה משינויים ב־DNA. מחקרים אפיגנטיים מראים, כי אף ללא כל הבדל ב־DNA שלהם שני פרטים יכולים להיות לא רק שונים בפנוטיפ (במופע) שלהם, אלא גם להעביר הבדלים אלה בתורשה לצאצאיהם.

בספרנו אנו טוענות כי תכונות עוברות מדור לדור בארבעה אופנים, שכולם משפיעים על האבולוציה. אמנם המימד הראשון – הורשה דרך גנים ודרך וריאציות ברצף הבסיסים ב־DNA – מזוהה בדרך־כלל עם חקר התורשה בכלל, והוא סוג התורשה הבסיסי והמרכזי בעולמנו, אולם מלבדו יש מימדים נוספים של תורשה.

המימד שני הוא תורשה **אפיגנטית־תאית**, שעניינה העברת מידע בין תאים (כולל תאי הרבייה) על מצבם התפקודי והמבני, ללא שינוי ברצף הבסיסים ב־DNA. מערכות של העברת מידע בין־דורי לא־גנטי בין תאים קיימות בכל היצורים החיים: תאים מגיבים לשינויים בסביבתם ומשנים את מצבם התפקודי או את צורתם, ומעבירים את מצבם החדש לתאי־בת באמצעות מנגנונים ביוכימיים שונים. התגובות התאיות התורשתיות הללו באות לביטוי במיוחד בתנאי עקה (לחץ יוצא דופן), למשל בתנאי רעב, בעת שינויי טמפרטורה, בעקבות מפגש עם גנום זר ועוד. פירוש הדבר הוא כי לא רק רכיבים גנטיים, אלא גם רכיבים שאינם גנטיים יכולים לחולל שינוי בתכונותיו וביכולתו של היצור וצאצאיו להתמודד עם הסביבה.

סוג כזה של תורשה יכול לגרום לאבולוציה מהירה ומובנית יותר מכפי שניתן לצפות על־פי ההנחות המקובלות. לתורשה מסוג זה השלכות רבות, למשל על רפואה: מפגעים סביבתיים, כמו זיהומים ורעלים שונים, יכולים להשפיע לא רק על התפתחות הפרטים שנחשפו להם, אלא גם על זו של צאצאיהם – בנים, נכדים ונינים, אפילו אם אלה חיו בסביבה נקייה! אם אבות אכלו בוסר, שיני בנים ובני־בנים עשויות לקהות.

שני המימדים הנוספים של התורשה עוסקים בהעברת מידע בין דורות דרך ההתנהגות. המימד השלישי הוא העברת מידע של דגמי התנהגות בקרב בעלי חיים חברתיים (שאינם בני אדם) דרך למידה חברתית. למשל, דיאלקטים של ציפורי שיר, וריאציות בשירי הלווייתנים, דרכי הטיפול במזון והעדפות המזון במכרסמים כמו חולדות ועכברים – כל אלה מועברים מדור לדור דרך מנגנונים שונים של למידה חברתית. להעברה זו חשיבות עצומה בעיצוב סביבת החיים של בעלי החיים ובקביעת אופי הברירה שהם עוברים. היצורים החיים אינם סבילים. הם מעצבים את סביבתם, וזוהי הסביבה שבה הם וצאצאיהם עוברים ברירה טבעית. במאמר זה לא ארחיב בנושא תורשה חברתית זו.

המימד הרביעי, **תורשה תרבותית,** הוא העברת מידע בין בני אדם דרך מערכות ייצוג והעברה סימבוליות. העברה תרבותית אנושית מהווה, למשל, חלק מחוויית הקריאה של מאמר זה. "תורשה תרבותית" של נורמות התנהגות, מסורות, טכנולוגיות, שפות ואידיאולוגיות מוכרת לנו היטב, והיא מהווה חלק חשוב בחייהם של בני אדם ובסיס להמשכיות ההיסטורית־תרבותית שהיא כה מהותית לבני מיננו.

במובנה הרחב, תורשה אפיגנטית כוללת העברה בין־דורית של **כל מידע באופן שאינו מחייב שינויים ב־**DNA: וריאציות תרבותיות בקרב בני האדם, מסורות של בעלי חיים ומורשות התפתחותיות שיילוד מקבל מאמו, כמו, למשל, נוגדנים ספציפיים המועברים דרך החלב, השפעות של מצבים הורמונליים שונים או העדפות מזון ספציפיות המשפיעות על העובר בעודו ברחם. לעתים כרוכה העברת המורשות ההתפתחותיות הללו בהורשה אפיגנטית **ברמה התאית**: וריאציות בתפקוד, בצורה ובהתנהגות של התא, שאינן כרוכות בהבדלים ב־DNA, עוברות מתא־אם לתא־בת. כיוון שהעברה האפיגנטית־תאית היא שמאתגרת במיוחד את הגישה המקובלת לתורשה ואבולוציה, אתייחס אליה בהרחבה.

פוטנציאל, פרשנות וביצועים

זה זמן רב יודעים חוקרי הביולוגיה כי תורשה אפיגנטית־תאית כזו קיימת. תאי הלבלב שונים מתאי הכליה בגוף, ואף כשאלה ואף אלה מתחלקים שוב ושוב, הם שומרים על אופיים המיוחד, למרות שיש להם בדיוק אותו DNA. נראה כי ההבדלים בין התאים שנקבעו בזמן ההתפתחות העוברית התקבעו, והתאים "זוכרים" אותם. חייבים להיות אפוא מנגנונים – המנגנונים האפיגנטיים התאיים – שמאפשרים את הזיכרון התאי הזה ואת ההעברה מדור לדור של מצב תפקודי מסוים, מרגע שנקבע, בתוך שושלת התאים.

זיכרון תאי כזה, או תורשה תאית כזאת, הינם מחויבי המציאות ואינם שנויים במחלוקת. מה שמפתיע הוא העובדה, כי לעתים מועברות וריאציות אפיגנטיות תאיות כאלה לא רק בין תאים **בתוך** הגוף, אלא **בין** פרטים, מהורים לצאצאים, דרך תאי הרבייה: הביצית והזרעון. מסתבר שלא רק DNA עובר מדור לדור, אלא גם רכיבים תאיים אחרים, אפיגנטיים.

כיצד ניתן להבין תורשה אפיגנטית תאית זו? מהם המנגנונים המאפשרים אותה ומה הקשר שלה לתורשה הגנטית? מריון לאמב ואני התלבטנו כיצד להסביר נושא סבוך זה בלי להיכנס להסבר של המנגנונים הביוכימיים המורכבים הכרוכים בו. לבסוף הצענו אנלוגיה שהניחה את

הפשתנית המצויה: מימין, הצורה הרגילה של פרח בעל חמישה עלי כותרת, כאשר עלי הכותרת העליונים שונים בתכלית מעלי הכותרת התחתונים. משמאל: וריאנט, פלוריה (מפלצת ביוונית), סימטרי במלוא היקפו, ובו חמישה דורבנים במקום הדורבן היחיד בצורה הרגילה. ההבדלים בין שני המופעים הינם אפיגנטיים ועוברים בתורשה בין־דורית

דעתנו: הבה נניח כי ה־DNA, הגנוטיפ של יצור, הוא כמו יצירה מוזיקלית כתובה, תווים רשומים על נייר – פרטיטורה; הפנוטיפ הוא ביצוע מסוים של הפרטיטורה, וכמובן שיכולים להיות לאותה יצירה ביצועים רבים. הפרטיטורה (הגנוטיפ) מועתקת שוב ושוב, בדרך־כלל בנאמנות, מדור לדור, להוציא טעויות אקראיות בהעתקה. הביצוע (הפנוטיפ) מתחדש כל פעם ואינו עובר בתורשה.

אנלוגיה זו מתאימה לגישה המקובלת. הגנוטיפ, והוא לבדו, עובר בתורשה. אולם המצב משתנה כאשר אנו מכניסים טכנולוגיה חדשה של הקלטה ושידור. בזכות טכנולוגיה זו ניתן להעביר מדור לדור לא רק את הפרטיטורה המוזיקלית הכתובה, אלא גם את הפרשנויות הממשיות שלה. הביצוע המסוים שאנו שומעים מושפע לא רק מהפרטיטורה, מכשרונם של הנגנים, מטיבם של כלי הנגינה ומהתרבות המוזיקלית השולטת, **אלא גם מפרשנויות עבר של הפרטיטורה ששמעו המנצח והנגנים** – כלומר, מפנוטיפים קודמים, העוברים מדור לדור דרך טכנולוגיית ההעברה החדשה. ובהקבלה: ה"ביצוע" של ה־DNA תלוי לא רק ברצף הבסיסים המועתק בקפידה ובתנאים הספציפיים בתא, אלא גם בביטוי הפוטנציאל הגנטי בדורות הקודמים. תכונות נרכשות תאיות יכולות לפיכך לעבור בתורשה דרך המנגנונים האפיגנטיים, שהם המקבילים לטכנולוגיית ההקלטה והשידור.

שלושה מארבעת סוגי התורשה שצוינו לא זכו לטיפול ולמחקר ממשי עד לאחרונה. בראשית שנות ה־90 של המאה ה־20 לא היו דוגמאות רבות לתורשה אפיגנטית בין־דורית דרך תאי הרבייה. תורשה של התנהגות בתיווכה של למידה חברתית בבעלי חיים היתה ידועה, אולם לא זכתה לתשומת לב רבה מצד חוקרי התורשה והאבולוציה. רוב החוקרים ראו

>>

>> בתורשה התרבותית נושא נפרד מזה של האבולוציה, משהו המיוחד לאדם ולתרבותו, שאינו מהותי לאבולוציה הביולוגית של המין האנושי. במהלך עשרים השנים האחרונות המצב השתנה, וגם תחום התורשה האפיגנטית התאית זכה לתשומת לב מחקרית רבה.

בסקר ספרות שערכתי לאחרונה יחד עם גל רז, מצאנו למעלה ממאה דוגמאות של תורשה אפיגנטית תאית, רב־דורית. הדוגמאות כוללות תורשה של עמידות לאנטיביוטיקה בחיידקים; תורשה של דגמי ריסים על פני הקליפה בקרב יצורים חד־תאיים ממשפחת הריסניות; תורשה של ארכיטקטורות חלבוניות בפטריות; תורשה של צורות וצבעים בפרחים, תורשה ארוכת־טווח של מחלות בחולדות לאחר זריקה אחת ויחידה של מעכב הורמון שסבתא־רבתא שלהם קיבלה בעת הריונה, הורשה של מומים במבנה הלב הקשורים להעברה של מולקולות DNA קטנות. הרשימה אינה אינסופית, אבל היא מראה שווריאציות תורשתיות, אפיגנטיות, הן חלק מהרפרטואר התורשתי של כל סוגי היצורים החיים, וכי כל תכונה יכולה להיות בעלת וריאציה שתעבור בתורשה כזאת. מה שמצאנו הוא קצה־קצהו של קרחון אדיר מימדים. הווריאציות שונות זו מזו באופי התכונה עליה הן משפיעות, ואף במידת היציבות שלהן: יש המועברות בנאמנות במשך דורות רבים, ואחרות רק במשך דורות מעטים. המנגנונים העומדים בבסיסן מגוונים אף הם. הם מורכבים מאוד וזוכים לתשומת לב מחקרית רבה.

אבולוציה איטית או מהירה?

מה כל זה משנה? מה המשמעות של הממצאים הללו לתפיסת התורשה והאבולוציה שלנו? קודם כל אנו למדים, שאין זה מובן מאליו כי ההבדלים התורשתיים בין פרטים שאנו רואים, נגרמים כתוצאה מהבדלים ב־DNA. ייתכן מאוד שגם (או אפילו רק) הבדלים אפיגנטיים אחראים להבדלים תורשתיים אלה. ואם אכן ההבדלים הללו הם אפיגנטיים, הם יכולים להיקבע (ולא רק להתברר) על־ידי הסביבה. לצערנו, עדיין איננו יודעים איזה חלק מהווריאציה המצויה באוכלוסיות טבעיות אפיגנטית במקורה, למרות שבוטנאים מתעניינים מאוד בשאלה זו והחלו לחקור את הנושא באוכלוסיות של צמחים.

אם מספר הווריאציות האפיגנטיות בטבע גדול כפי שרומזים לנו ממצאי המחקר במעבדה, ואם אכן, כמו במעבדה, חלקן מושרה על־ידי הסביבה, כי אז שינוי אבולוציוני משמעותי יכול להתרחש ללא כל שינוי ב־DNA, ושינוי כזה יכול להיות מהיר ולהשפיע על מספר רב של פרטים מהאוכלוסייה. האבולוציה עשויה, אם כן, להיות מהירה מאוד!

יתר על כן, שינויים אפיגנטיים יכולים **להנחות** שינויים גנטיים. בניגוד לסברה המקובלת, לפיה חייבים יצורים חיים לחכות כאשר משתנים תנאי הסביבה, עד שמוטציה גואלת תתאים אותם לתנאי הסביבה החדשים, ההנחה הנוכחית היא, שיצורים חיים מתאימים את עצמם באופן פיזיולוגי והתנהגותי כמיטב יכולתם לתנאים משתנים. **וריאציות ביכולת ההסתגלות הזאת, הנחשפת לתנאים החדשים, הן שנבררות בתהליך הברירה הטבעית**. וריאציות אלו יכולות לעבור בתורשה.

לדוגמה, נניח שעלייה בטמפרטורה גורמת להידלדלות הפרווה באוכלוסייה של יונקים. זוהי תגובה פיזיולוגית של כל פרט ופרט, אף שיש פרטים שמגיבים מהר יותר או מוקדם מחבריהם. במקרה זה הברירה הסביבתית תפעל: אלה שמגיבים במהירות וביעילות לעלייה בטמפרטורה יהיו בעלי יתרון, והארגון מחדש של הגנים הקיימים באוכלוסייה (ללא צורך בכל מוטציה חדשה) ושל השינויים האפיגנטיים המושרים על־ידי השינוי הסביבתי, הוא שיהיה נתון להליך הברירה. על־פי גישה זו, השינויים הפנוטיפיים, ההתפתחותיים, המושרים על־ידי הסביבה, קודמים לאלה הגנטיים, והם מכוונים את הברירה של וריאציות גנטיות. כפי שציינה חוקרת האבולוציה מארי–ג'ין ווסט–אברהרד באבולוציה, הווריאציות הגנטיות עוקבות אחרי אלו הפנוטיפיות.

לאור המחקרים האפיגנטיים יש לעדכן את גישתנו למקרו־אבולוציה – לאבולוציה שמעל לרמת המין הביולוגי. אחת התגליות המעניינות ביותר בתחום חקר התורשה וההתפתחות בשנים האחרונות היא שעקות – תנאים ומצבים כמו טמפרטורות קיצוניות,

"המסקנה החד־משמעית היא, שיש לכלול את הפרספקטיבה האפיגנטית במסגרת הדיון והמחקר בתורשה ובאבולוציה. פרספקטיבה זו מרחיבה את המסגרת התיאורטית, שוללת את ה'לאווים' שבסינתזה המודרנית ורותמת את העגלה הגנטית לסוס ההתפתחותי, המוביל. הווריאציה הפנוטיפית (ולא הגן) עומדת במרכז. שינויים אבולוציוניים מהירים נעשים משמעותיים, ו'תורשה רכה' מקבלת את מקומה הראוי"

רעב, הרעלה, שינויים הורמונליים מפליגים – גורמות קשיים ליצורים חיים ומעוררות שינויים אפיגנטיים. גם עקות גנומיות – למשל, מפגש של שני גנומים שונים בתא אחד (בעקבות הכלאה בין מינים שונים) – יכולות לגרום לשינויים דרמטיים במצב האפיגנטי של הגנום. יתר על כן, נראה כי מצבי עקה יוצאי דופן גורמים לעיצוב מחדש של הגנום, ממש כפי שצפתה המדענית הגדולה ברברה מקלינטוק לפני למעלה מארבעים שנה. דבר זה סביר שיגרום לשינוי אבולוציוני מהיר. תגובה אבולוציונית מהירה אינה רק בגדר האפשר בתנאים אלה. היא בלתי נמנעת! יתר על כן, כיוון שטווח הווריאציות המופיעות בתאים אלה אינו אקראי, יש כיווניות מסוימת לשינוי האבולוציוני, הנקבע על־פי מבנה הגנום ורשת הקשרים שבין רכיביו.

למרות שלמנגנונים שונים של תורשה אפיגנטית יש משקל שונה בכל קבוצה של יצורים חיים, טענתי יחד עם עמיתיי, שלצורות שונות של תורשה אפיגנטית – תרבותית־סמלית, התנהגותית ואפיגנטית־תאית, יש חשיבות להבנת אופי השינויים האבולוציוניים מכל הסוגים ובכל רמות הארגון הביולוגי. למנגנונים אלה היה תפקיד חשוב בשלבי אבולוציה מכריעים בהיסטוריה של התפתחות החיים. למשל, התבססות היחסים הסימביוטיים עם חיידקים, שהביאו ליצירתו של התא בעל הגרעין המודרני (המרכיב, בין היתר, את גופנו), לא תיתכן ללא מנגנונים אפיגנטיים המאפשרים את השכפול של ממברנות; מנגנוני תורשה אפיגנטית־תאית היו תנאי הכרחי למעבר מיצורים חד־תאיים ליצורים רב־תאיים בעלי מספר גדול של סוגי תאים; הופעתה הראשונית של מערכת העברת מידע לשונית־סמלית מילאה תפקיד חשוב באבולוציה התרבותית והגנטית של האדם. התרבות שינתה את המשמעות הסלקטיבית של תכונות רבות והעניקה משמעות לאחרות. את האבולוציה של היכולת הלשונית האנושית אי־אפשר להבין על־פי גישה זו אלא במסגרת יחסי גומלין בלתי פוסקים בין אבולוציה לשונית־תרבותית ואבולוציה גנטית.

המסקנה החד־משמעית היא, שיש לכלול את הפרספקטיבה האפיגנטית במסגרת הדיון והמחקר בתורשה ובאבולוציה. פרספקטיבה זו מרחיבה את המסגרת התיאורטית, שוללת את ה"לאווים" שבסינתזה המודרנית ורותמת את העגלה הגנטית לסוס ההתפתחותי, המוביל. על־פי גישה זו, הווריאציה הפנוטיפית (ולא הגן) עומדת במרכז. שינויים אבולוציוניים מהירים נעשים משמעותיים, ו"תורשה רכה" מקבלת את מקומה הראוי כחלק ממערכות התורשה וכתורמת ישירה לאבולוציה הביולוגית.

150 שנה אחרי פרסום "מוצא המינים" ממשיכה תיאוריית האבולוציה הדרוויניסטית להשתנות, להתפתח ולהיות מקור השראה לתחומי מחקר חדשים ומרתקים. בעקיפין, ממשיך צ'ארלס דרווין במודל הבסיס שיצר להעמיק את הבנתנו על ההיסטוריה של החיים ועל כיוון התפתחותם. ■

jablonka@post.tau.ac.il

רוצים לדעת יותר?

כמה ספרים נוספים בנושא:

Biology as Ideology: The Doctrine of DNA, 1991, Richard C. Lewontin, Harper Collins

Endless Forms Most Beautiful: The New Science of Evo Devo, 2005, Sean B. Carroll, Norton

Not By Genes Alone: How Culture Transformed Human Evolution, 2005, P.J. Richerson and R. Boyd, University of Chicago Press

אבולוציה בארבעה מימדים, חוה יבלונקה ומריון לאמב, הוצאת עם עובד 2009

שמואל שם-טוב

לכל אדם טביעת אצבע משלו

התגלית הגדולה ביותר של המאה ה־19 הבהירה כי הבדלים בין פרטים הם המניעים את עולם החי כמו את החברה האנושית. שני ענקים הובילו את העולם אל התגלית הזאת: צ'ארלס דרווין וג'ון סטיוארט מיל

תמונות: Visual Photos

■ "רעיון שהגיע זמנו", אמר סר אייזיק ניוטון, "חזק מכל צבא שבעולם". בנובמבר 1859, בתום כעשרים שנות עבודה ובדיקה, פרסם צ'ארלס דרווין את ספרו המהפכני "מוצא המינים", ושינה באחת את מעמדו של האדם ביקום. באותן שנים ממש, אי־שם באיי גינאה החדשה, ניסח אנגלי אחר – אלפרד ראסל וולאס, במילים זהות כמעט, את רעיון האבולוציה והברירה הטבעית.

יד הגורל? מקריות? צירוף מקרים? או שמא "רעיון שהגיע זמנו", כלומר תיאוריה שריחפה באוויר המדעי־פוליטי־תרבותי של אנגליה הוויקטוריאנית, הגיעה לבשלות, וחשיפתה, בעיתוי הזה, היתה בלתי נמנעת?

ההיסטוריה של המדע שופעת סיפורים על תגליות שהתרחשו במקביל; המצאות אשר באורח פלא הבריקו בה־בעת במוחם של מדענים שונים, שפעלו הרחק זה מזה מבלי שיידעו זה על עבודתו, או אף על קיומו, של זה. סיפורם של וולאס ודרווין תואר פעמים רבות, אך מעטים בלבד ייחסו חשיבות לסמיכות הזמנים המרתקת שבין פרסום "מוצא המינים" לבין יצירה אחרת, שראתה אור חודשים ספורים לפניו. בתחילת 1859 פרסם בכיר הפילוסופים הליברליים במאה ה־19, ג'ון סטיוארט מיל, את "על החירות", יצירה הנחשבת, בצדק לא מבוטל, לתנ"ך של הליברליזם הקלאסי. "על החירות" קבעה את בסיס הטיעונים המוצק והמקיף ביותר להגנה על חירות הפרט ועל מעמדו.

דרווין נולד שלוש שנים לפני מיל, ושניהם גדלו בצל אבות דומיננטיים. אמו של דרווין נפטרה בהיותו בן שמונה, ואילו מיל לא זכה לקרבה אימהית כלל, בשל הניסוי שערך אביו בבנו בכורו. ג'יימס מיל האמין כי השכל, ולא הרגש, מעצב את האופי, וכי טיפוחו של אדם נבון הוא המפתח לעתידו ולהצלחתו של המין האנושי. כיוון שכך, חינך את בנו מגיל שלוש על־פי תוכנית לימוד נוקשה ומקיפה, שהפכה את ג'ון סטיוארט הקטן לילד פלא משכיל, אך גם הביאה להתמוטטותו הנפשית בגיל צעיר.

"מיל מדבר על המאבק החברתי במונחים גנטיים כמעט. השונות בין בני האדם היא, לדבריו, המפתח לחידוש ולהתפתחות. כל פרט וחברה מייצגים דרך, אך אי אפשר לדעת מראש מהי הדרך הנכונה. בין הרעיונות מתקיים מאבק, והרעיונות המתאימים הם השורדים ומנצחים. חשוב מאוד, אם כן, להיפתח למגוון של רעיונות ולעודד את ההתמודדות ביניהם"

בהשפעתה העצומה של המהפכה התעשייתית, שלחה אנגליה במאה ה־19 זרועות אל כל עבר. באמצעות שיטות של ניסוי והוכחה, פענחו מדעניה הדגולים את מבנה החומר והיקום, ופרצו בשורת תגליות חדשות שנסכו בַּכֹּל תחושה של עוצמה ללא קץ. יורדי הים הבריטים, מלווים בחוקרים, פשטו אל כל קצות העולם, מיפו את כדור־הארץ, ובד־בבד תיעדו את התופעות שנִגְלוּ לעיניהם. בלונדון שגשגו הספרות והשירה, ובבריטניה הסגרירית נשבה רוח רעננה של מהפכה רומנטית, שנשאה בכנפיה הבטחה לשחרור האדם מכבלי מגבלותיו.

כידוע, הצטרף דרווין עצמו למסע מחקר כזה בספינה "ביגל". במשך חמש שנים חקר את נפלאות הטבע של דרום–אמריקה, ובסיס והנתונים שאסף במסע עזר לו להגיע לרעיון השתנות המינים בתהליך הברירה הטבעית

באווירה זו פרסמו שני הענקים את עבודתם. דרווין הציע את תורת האבולוציה באמצעות הברירה הטבעית; תיאוריה מקיפה, המבוססת על דוגמאות אינספור ומוכיחה כי מקור החיים הוא אחד, וכי כל המינים נוצרו בתהליך ארוך של השתנות המועברת בתורשה.

הדרוויניזם מושתת על כמה מרכיבים בסיסים, אבל נשען על "מנוע" אחד שבלעדיו אין לתיאוריה קיום והוא המאפשר את האבולוציה והתנאי ההכרחי לקיומה: **כל היצורים וכל בני האדם שונים זה מזה. בעולם כולו אין שני פרטים זהים**.

לשונות זו ערך עצום. בלעדיה אין אבולוציה. יתר על כן, בהיעדרה לא יתקיים אף גזע ואף מין לטווח ארוך, וסופם להיכחד. דרווין לא ידע לזהות מהו מקור השונות, גם לא את המקור לשינויים החוזרים ומתרחשים בכל פרט, אך הוא הבין שהשונות היא הדלק המפעיל את תהליך האבולוציה. התיאוריה הדרוויניסטית מובילה למסקנה, כי המפתח להתפתחות האדם ולהישגיו טמון בשונות המופלאה בין הפרטים, המאפשרת קיום כל מין והשרדותו, כאשר כל פרט, על תכונותיו הייחודיות, נאבק על קיומו מול סביבה עוינת ומשתנה.

• • •

חוב גדול חייבים האירופים "**לריבויים של נתיבים**", קובע ג'ון סטיוארט מיל ב"על החירות". לטענתו, סוד ההצלחה והקידמה האנושית אינו טמון בתהליך של התקדמות מנדבך אל נדבך, אלא דווקא ב"**דרכים השונות זו מזו בתכלית השינוי**". ההיסטוריה אינה תהליך אבולוציוני ליניארי, אלא מאבק בין פרטים, חברות ואידיאות. בכל שלב משלבי המאבק נמצא רעיון חדש, מתאים ויעיל מקודמיו, המשמש פתרון לבעיות הזמן והמקום.

מיל מדבר על המאבק החברתי במונחים גנטיים כמעט. **השונות** בין בני האדם היא, לדבריו, המפתח לחידוש ולהתפתחות. כל פרט וחברה מייצגים דרך, אך אי אפשרן לדעת מראש מהי הדרך הנכונה. בין הרעיונות מתקיים מאבק, והרעיונות המתאימים הם השורדים ומנצחים. חשוב מאוד, אם כן, להיפתח למגוון של רעיונות ולעודד את ההתמודדות ביניהם.

רק כאשר מופנמת חשיבותה של השונות בין אנשים ודעות כמכשיר לאבולוציה חברתית, ניתן להבין לעומקה את בחירתו הבלתי מתפשרת של מיל לגונן על החירות של כל פרט, על הלגיטימיות של כל דעה, ועל זכות הקיום של כל תרבות. וכך תיאר זאת הפילוסוף ישעיהו ברלין בספרו "ארבע מסות על חירות": "**מיל סבר שהדעת האנושית לעולם אינה מושלמת ותמיד עלולה לטעות. כי אין בנמצא** >>

אמת גלויה ואוניברסלית אחת.... כי בני אדם משתנים וכי האמיתות שבהן הם מאמינים משתנות מכוח ניסיונות חדשים ומכוח פעולותיהם שלהם עצמם". וכאמור, כיוון שכך יש להקשיב לכל דעה, לבדוק כל רעיון ולעודד התמודדות בין רעיונות, דווקא כדי שהרעיונות הטובים, המקוריים המועילים יוכיחו עצמם בתהליך של קונפליקט והתאמה. מיל רואה בוויכוח החופשי מקבילה להליך הניסוי במדעי הטבע; מעין כלי להכרעה בין רעיונות.

אנגליה של המאה ה־19 נחשפה למושג השוני והרב־גוניות, ועד מהרה הפכה אותו לערך עליון. דרומה משם, בצרפת, שיבח ז'אן־ז'אק רוסו את "טבע האדם" ואת ערך השוויון והאחידות. באירופה נבטו באותה עת זרעי המארקסיזם, שבסופו של דבר ינבא את קץ ההיסטוריה ביצירת משטר חברתי שוויוני לכל פרט. מיל ודרווין הובילו אל ההיפך הגמור מזה. לדידם, דווקא אי־השוויון, הפרט השונה, הייחודי, המקורי ויוצא־הדופן, הם־הם המובילים אבולוציה חברתית. רעיונות שונים ומנוגדים (כמו יצורים חיים) מתמודדים איש־איש בנפרד, מול סביבה משתנה, ורק הרעיון המתאים ביותר זוכה.

150 שנה אחרי "על החירות", נשמעת תביעתו של מיל – לאפשר לכל דעה להישמע, להתקיים ולהתמודד בבורסת הדעות ולהעניק לכל מיעוט את הזכות לחתור בדרכו אל האמת – טריוויאלית. ההנחה המובלעת בעמדתו, כמו גם באבולוציה הדרוויניסטית, היא כי אין גרסה נכונה אחת לאבולוציה, כשם שאין אמת אחת לרעיונות האנושיים. בכל רגע ורגע מתקיים בטבע, וכן גם בחברה, מאבק בין כוחות חדשים, ומומצאת וריאציה חדשה על תכונות ורעיונות.

בשלהי המאה ה־20 בחרה התנועה הפוסט־מודרניסטית להרחיק את טיעוניו של מיל צעד אחד נוסף. אם אין אמת אחת, קבעו הוגיה, או שאין אמת בכלל, הרי שכל הטענות, כמו כל המינים וכמו כל התרבויות, שווים זה לזה בערכם ובמהותם. בחסות המונח החדש "רב־תרבותיות", הוגדרה המציאות כמשוללת

"הלגיטימיות של עמדות "מטופשות", כמו של תרבויות "נחותות", אינה נובעת, לדעת מיל, ממעמדן השווה לזה של הטענות הרציונליות. ההגנה עליהן נובעת מן האמונה, כי הרוח האנושית זקוקה לאתגרים ולמבחנים, וכי הקידמה האנושית נבנית מסינתזה של רעיונות שאיש אינו יודע מראש את ערך תרומתם ומידת התאמתם.

היררכיה מטבעה: על פי הפוסט־מודרניסטים, אי אפשר ולא צריך עוד לקבוע דרגות לגבוה ולנמוך, ראוי ושאינו ראוי, טוב ורע. הכל פתוח.

אם מיל ראה מלחמה בין רעיונות ודרווין ראה מלחמת קיום בין פרטים, הרי שמארקס ראה מלחמת מעמדות. בניגוד לשניהם, מארקס האמין באבולוציה בלתי נמנעת שבסופה מגיעה האנושות אל השלמות במשטר אוטופי המתאים לכל בני האדם

מיל ודרווין היו דוחים את הרעיון הזה בשאט־נפש. דרווין התבונן ב"פראים" בדרום־אמריקה, ושאל את עצמו אם אכן מדובר בבני אדם. לא היה לו ספק, כי למרות המוצא המשותף, קיים הבדל ערכי בין בקטריה לאדם ובין פרא לאיש תרבות. מיל לא מצא גרגר של אמת בטענות דתיות לא רציונליות או בתרבויות "מפגרות" של ילידי הג'ונגלים. באמצעות השכל והחקירה ניתן להבחין בין אמת לשקר ובין טוב לרע. עמדתו העקרונית של מיל מיוצגת במשפט הקלאסי "**אגן בגופי על זכותך לומר את השטויות שלך**". מיל האמין (בהתאמה מלאה לתיאוריה הדרוויניסטית), כי בכל שלב ושלב, בכל רגע נתון ובכל סביבה תרבותית, קיים פתרון נכון יותר, מתאים יותר וראוי יותר, הניתן להגדרה ולהגנה רציונלית. בטבע מיוצג פתרון זה באמצעות המין שמצליח להסתגל ולשרוד. בחברה חופשית מנצח הפתרון ה"נכון" (אם כי הזמני), שהושג באמצעות דיון פתוח וחופשי בין דעות שונות.

הלגיטימיות של עמדות "מטופשות", כמו של תרבויות "נחותות", אינה נובעת, לדעת מיל, מ**מעמדן השווה** לזה של הטענות הרציונליות. ההגנה עליהן נובעת מן האמונה, כי הרוח האנושית זקוקה לאתגרים ולמבחנים, וכי הקידמה האנושית נבנית מסינתזה של רעיונות שאיש אינו יודע מראש את ערך תרומתם ומידת התאמתם. המסקנה הפוסט־מודרנית, כי ניתן למחוק כל היררכיה, מרוחקת, אם כן, מרחק עצום מן התיאוריה של מיל.

מיל ראה את ההיסטוריה האנושית כצעדה איטית וארוכה של שיפור מתמיד, לקראת אידיאל השלמות שאולי אינו ניתן להשגה, אך מפיץ את אורו ממרחקים כמגדלור בחשיכה. הליברליזם של מיל רווי משמעות. חירות הפרט וזכות השונה הם בעיניו כלים להצלחה ולקידום החברה האנושית. דרווין, ב"מוצא המינים", השאיר אותנו לבדנו, צועדים במסלול היסטורי ללא כל מטרה או אידיאל. אולי זו הסיבה שכל־כך הרבה אנשים נלחמים בו בשצף־קצף עד היום הזה. "**אלוהים לא משחק בקוביות**", אמר איינשטיין. הטבע האנושי מסרב לקבל אבולוציה אקראית, חסרת מטרה או משמעות.

דרווין ומיל הורישו לנו את ההבנה הפשוטה, כי העולם נמצא בתנועה מתמדת. דמיון וזהות מובילים בו לאבדון, ואילו שוני ומקוריות הם מתכון לשכלול, פריחה וקידמה. שניהם האמינו, כי למרות שקיימת אמת אובייקטיבית אחת, בני אדם עלולים לטעות (כפי שמוטציה מסוימת עלולה להיות מזיקה), ומסלול שגוי עשוי להתברר בעתיד כמוצלח. רק החופש לבטא את ייחודו של כל פרט, להתמודד על דרכו ולהעמידה למבחן השכל – מבטיחים שלמרות כל האיומים והסכנות תתקיים החברה האנושית גם בעוד אלפי שנים. ■

shemtov2@017.net.il

שמואל שם-טוב, עורך כתב העת "אודיסאה". עיתונאי ואיש טלוויזיה

אידיס פריי / צילומים: אלעד חגי פרידמן

לוח זמנים: ראשיתו של היקום במפץ הגדול לפני כ־14 מיליארד שנים. מערכת השמש שלנו התגבשה מענן של אבק וגז לפני כארבעה וחצי מיליארד שנים. מרבית החוקרים סבורים כי החיים התהוו זמן קצר לאחר מכן, לפני כארבעה מיליארד שנים. בתחילה נוצרה אוכלוסייה ראשונית של תאים דמויי־חיידקים. ממערכות חיות אלה החל להתפתח עץ החיים האבולוציוני על כל מגוון המינים הביולוגיים שאי־פעם התקיימו על האדמה

מוצא החיים על פני האדמה

מדוע לא נפתרה עדיין שאלת מוצא החיים? מה הקושי להבין כיצד הפכו תרכובות כימיות פשוטות על הארץ הקדומה למערכות חיות ראשוניות? חוקרי מוצא החיים משוכנעים כי רק אבולוציה על־ידי ברירה טבעית שפעלה כבר על החומר הדומם, היתה יכולה להביא להתפתחותה של מורכבות ביולוגית ויצירת חיים. עכשיו מחפשים אחר מבנים כימיים שהתקיימו לפני כארבעה מיליארד שנה ושימשו תשתית לפעולת הברירה הטבעית

■ לאורך רוב ההיסטוריה האנושית לא היה לאיש ספק מהו מקור החיים. ההסבר המקובל, משותף לחוקרי טבע ולפשוטי עם כאחד, היה שילוב של אמונה בבריאה אלוהית של צורות החיים והאמונה ב"גנרציה (היווצרות) ספונטנית". תיאוריית הגנרציה הספונטנית טענה כי לנגד עינינו חוזרים ונוצרים **מחומר דומם** יצורים שונים – חרקים, צפרדעים, צלופחים ואפילו ציפורים. מקורם של יצורים אלה הינו חומר אנאורגני, או אורגני, כערימות אשפה או צמחים נרקבים. יצירת החיים דורשת לחות וחום שמש. תיאוריית הגנרציה הספונטנית זכתה במשך מאות שנים לא רק להצדקה מטריאליסטית, אלא אף להצדקה דתית, שלפיה אלוהים יצר באירוע הבריאה הראשוני את ה"זרעים הפוטנציאליים" של יצורים חיים רבים, ואלה חוזרים ומתממשים על־פי תוכנית קבועה מראש בתנאי סביבה מתאימים.

החל מן העת החדשה, בעקבות תצפיות וניסויים, החלה אמונה זו להתערער. במאה ה־18 ובמהלך המאה ה־19 טענו אנשי המדע, כי בהיווצרות (גנרציה) ספונטנית נוצרים מיקרואורגניזמים בלבד. סדרת ניסויים מרשימה שביצע הכימאי הצרפתי לואי פסטר במחצית השנייה של המאה ה־19, היתה הגורם המכריע לירידתה הסופית של האמונה בגנרציה ספונטנית מבמת ההיסטוריה. פסטר לא הסתפק במסקנה המדעית של ניסויו, וראה בהם חיזוק לעמדתו הדתית־פילוסופית: גם בעבר הרחוק חיים לא היו יכולים להתהוות מחומר דומם, כך שראשיתם היתה בריאה אלוהית.

בצרפת השמרנית של המאה ה־19 הכנסייה והממסד ראו בתומכי הגנרציה הספונטנית אויבים פילוסופיים ופוליטיים. בהרצאה שנשא ב־1864 בסורבון אמר פסטר, כי לו גנרציה ספונטנית היתה אכן אפשרית, "אלוהים היה הופך למיותר". על שאלת המפתח, האם חומר דומם יכול לארגן את עצמו למערכת חיה, ענה פסטר בשלילה מוחלטת.

לא רק תיאוריית הגנרציה הספונטנית, אלא גם האמונה בבריאה אלוהית של מינים קבועים התערערה בהדרגה. החל במאות ה־14 וה־15 מגלה אירופה עולם חדש ומופלא: חוקרים יוצאים למסעות ומגלים ארצות חדשות ומגוון יצורים חיים שלא נודעו בעבר. קוסמולוגיה חדשה מרחיבה את גבולות העולם לאינסוף ומסיטה את האדם ממרכז היקום. פיזיקה חדשה מסבירה באופן מכני את תנועת הכוכבים במסלולם. מדע חדש המסתמך על ניסויים והבנה מתמטית־תבונית של חוקי הטבע, תופס את מקום ההסבר התכליתי, הדתי/אריסטוטלי. בעקבות התבססותו של מדע הגיאולוגיה מתגבשת ההכרה בהיסטוריה ממשית של האדמה ובהשתנות התנאים על פניה. נתונים מחקריים מצביעים על גילו העתיק של כדור הארץ, וגילויים של מאובנים בשכבות גיאולוגיות קדומות מערערים את התפיסה הסטטית של עולם החי. כל אלה – על רקע מהפכים חברתיים, כלכליים, תרבותיים ודתיים שהגיעו לשיאם בתקופת הנאורות במאה ה־18, בעיקר בצרפת – הובילו לגיבוש תפיסות מטריאליסטיות של הטבע החי. שיאו של תהליך ארוך זה התרחש באנגליה של אמצע המאה ה־19.

"במקווה מים קטן וחמים"

ב־1859 מפרסם צ'ארלס דרווין את תיאוריית האבולוציה שלו. בספרו "מוצא המינים" הוא מציג אלטרנטיבה מפורטת ומבוססת היטב לאמונה בקביעות המינים. ליבה של התיאוריה האבולוציונית – מנגנון הברירה הטבעית – סיפק הסבר חומרי למגוון העצום של המינים הביולוגיים שהתפצלו במהלך ההיסטוריה זה מזה, וכן להתאמתם של היצורים החיים לתנאי חייהם השונים. העץ האבולוציוני הענף, על־פי דרווין, מקורו בשורש אחד – בצורת חיים אחת או בצורות בודדות שהיוו את האב האוניברסלי הקדמון ממנו השתלשל כל עולם החי.

דרווין לא עסק בספרו בשאלת מקורו של שורש זה – כלומר, בשאלת מוצא החיים, אלא רק במכתביו הפרטיים. שתיקתו הפומבית בנושא נבעה מהערכה, כי הידע המדעי בן זמנו אינו מאפשר התמודדות עם נושא כה קשה ומורכב. קרוב לוודאי שדרווין גם הבין, שעיסוק מפורש בשאלת מוצא החיים עלול להחריף את התנגדות הממסד הדתי לתיאוריה שלו. עם זאת, באחד ממכתביו הוא העלה אפשרות, שנראתה לו נועזת ביותר, כי "**במקווה מים קטן וחמים**" (in a warm little pond) על הארץ הקדומה נוצרו תרכובות אורגניות מחומרי מוצא פשוטים, ובהשפעת מקורות אנרגיה שונים הן התפתחו למערכות חיות. גם כמה מבני חוגו הקרובים של דרווין העלו רעיונות שונים בנושא זה. דווקא במעבר מהמאה ה־19 אל המאה ה־20, בעקבות כינונם של תחומי המחקר

>>

החדשים של הגנטיקה והביוכימיה וההכרה הגוברת במורכבותו העצומה של התא החי, הפכה שאלת מוצא החיים לקשה עוד יותר. מרבית אנשי המדע בתקופה זו בחרו להתעלם מן השאלה ולא לעסוק בה.

התחלות אופטימיות

פריצת דרך בנושא מוצא החיים התרחשה בשנות העשרים והשלושים של המאה ה־20. מספר חוקרים, ובראשם הביוכימאי הרוסי אלכסנדר אופרין (Oparin) והגנטיקאי הבריטי ג'ון ברדון סנדרסון הלדיין (J. B. S. Haldane), החלו, על בסיס נתונים אסטרונומיים, כימיים וביולוגיים חדשים, לנסח תסריטים **אבולוציוניים** מפורטים למעבר מדומם לחי. עם זאת, גישה חלוצית זאת עדיין היתה חסרה ידע מפורט יותר על התא החי.

ייתכן שאין זה מקרה שחלוצי מחקר מוצא החיים במאה ה־20 – אופרין, הלדיין, חוקר הגבישים דזמונד ברנל ואחרים – היו מארקסיסטים. פילוסופיית הטבע שנוסחה על־ידי פרידריך אנגלס מדברת על התפתחות חוקים חומריים שונים עם המעבר לרמות ארגון חדשות בהיסטוריה של הטבע. תפיסה זו אפשרה לאופרין ולחוקרים נוספים לאמץ גישה אבולוציונית להתהוות החיים, המשלבת שני גורמים: רצף וחידוש. המעבר מחומר לחיים הוא רציף, אולם במהלכו התפתחו מאפיינים ביולוגיים חדשים.

המעבר לתחום מחקר ניסויי מובהק התאפשר רק במחצית השנייה של המאה העשרים. התפתחות הביולוגיה המולקולרית בשנות החמישים והשישים הביאה לגילוי מבנה ה־DNA, לפענוח מנגנון השכפול של החומר הגנטי ולהבנת הבסיס המולקולרי של תהליכי האבולוציה. לאנשי המדע התברר כי המבנה הביוכימי הבסיסי של כל התאים החיים הוא אחיד, וכי אוניברסליות זו אכן נובעת מהתפצלותם של כל היצורים החיים במהלך האבולוציה מאב קדמון משותף.

משלב זה נוסחה שאלת מוצא החיים במונחים כימיים ברורים. המטרה היתה לגלות מהלך שיכול היה להביא להתפתחותו של אב קדמון זה, שהיה, ככל הנראה, מקבץ של תאים דמויי־בקטריות. מכיוון שמדובר במעבר ממערכות פיזיקליות וכימיות למערכות ביולוגיות, החל להתפתח שיתוף פעולה בין חוקרי פלנטות ומטאוריטים, חוקרי אוקיינוסים וימים, גיאולוגים ופליאונטולוגים, כימאים אורגנים, ביולוגים מולקולריים וביולוגים אבולוציוניים. התרומה של כל אחד מן התחומים האלה חיונית לצורך ניסוח של מודל אפשרי למעבר מדומם לחי.

במהלך שנות החמישים והשישים בוצעו במעבדות שונות ניסויים, שהצליחו לשחזר את התנאים הכימיים והפיזיקליים הפרביוטיים (שלפני היות החיים) על פני כדור הארץ, תנאים שאפשרו ייצור של תרכובות אורגניות בעלות רלוונטיות ביולוגית ממרכיבי האטמוספירה הראשונית. כך התקבלו במעבדות, בין השאר, אבני הבניין של החלבונים, כמה מרכיבים של חומצות הגרעין, פולימרים דמויי־חלבונים שחלקם אף הוכיחו יכולת אנזימטית חלשה, ואף מבנים דמויי־תא העשויים מפולימרים אלה, שבתוכם התרחשו תהליכים מטבוליים פרימיטיביים. כל אלה נטעו בחוקרים תחושה אופטימית שהפתרון קרוב, ושניתן יהיה ליצר חיים במעבדה.

הביצה או התרנגולת

במהלך המחקר חשפה הביולוגיה המולקולרית את עקב אכילס של שאלת התהוות החיים. כבר בעבר היו חוקרי החיים מודעים לתלות ההדוקה בין מרכיבי היצור החי. אבל ההבנה המולקולרית של תלות זו בתא החי חשפה **"מעגל קסמים"**, שבו חומצות הגרעין נוצרות ומתפקדות רק בעזרת אנזימים חלבוניים האחראיים על תהליכי המטבוליזם (חילוף חומרים), ואילו אנזימים חלבוניים אלה יכולים להיווצר רק בעזרת האינפורמציה המוכתבת על־ידי חומצות הגרעין.

תלות הדדית זו לא מהווה בעיה בתאים המתפקדים כיום, אולם כיצד יכול היה מעגל קסמים זה להיווצר מלכתחילה? **מה קדם למה? אינפורמציה גנטית או מטבוליזם?** וכיצד היו החלבונים יכולים להיווצר ללא חומצות גרעין או להיפך? ההתמודדות עם בעיית ביצה ותרנגולת זו הפכה לאתגר מרכזי לקבוצות המחקר השונות והביאה לפיצול תיאורטי ומחקרי.

שתי מסורות מרכזיות, שראשיתן ברעיונות החלוציים של תחילת המאה העשרים, מפלגות את מחקר מוצא החיים גם כיום בין אנשי הגן־תחילה (gene–first) ומצדדי המטבוליזם־תחילה. מקורן של שתי המסורות בהשתייכות המקצועית של אופרין והלדיין. אופרין היה ביוכימאי, ואילו הלדיין עסק אמנם בביוכימיה, אך מחויבותו העיקרית היתה לגנטיקה.

בראשית דרכה הביוכימיה עסקה בעיקר בבידודם ובאפיונם של אנזימים המזרזים באופן ספציפי ריאקציות שונות, ובזיהוי המערך המטבולי המורכב משרשרות של תהליכים ביוכימיים. הגנטיקה התמקדה בתחילה בגילוי תפקידם של הכרומוזומים בתהליכי התורשה, במיפוי יחידות התורשה, שקיבלו את הכינוי "גנים", על פני הכרומוזומים, ובמוטציות בחומר התורשתי. שתי המסורות מבטאות **תפיסות שונות של המערכת החיה.** הביוכימאים רואים בחיים מערכת המתבססת על מכלול מטבולי, המקיים את עצמו בסביבה משתנה. הגנטיקאים תופסים את החיים כמערכת המתבססת בעיקרה על מולקולה אחת – פולימר (מולקולה ארוכה המורכבת מיחידות הקשורות זו לזו) גנטי האחראי לשכפול ולהתרבות. החוקרים המשתייכים לכל אחת ממסורות אלה מתקיפים, לפיכך, את מעגל הקסמים של המטבוליזם והאינפורמציה הגנטית משתי נקודות מוצא שונות.

איך מתפתחת מורכבות ביולוגית?

פתרון בעיית הביצה והתרנגולת הוא, למעשה, תשובה לשאלת התפתחותה של המורכבות הביולוגית, המתבטאת כבר במערכות החיות הראשוניות. הסבר התפתחותה של המורכבות בכל תא חי הוא אחד האתגרים הקשים שעומדים בפני התיאוריה האבולוציונית. דרווין התמודד עם אתגר זה כאשר דן ב"מוצא המינים" בהתפתחותם של "אברים המופלגים בשלמותם וסיבוכם", כמו, למשל, העין המורכבת של בעלי החוליות. הוא הראה כיצד עין כזו היתה יכולה להיווצר בהדרגה – כיצד, לאורך זמן רב, היו עשויים להצטבר בעיניים פשוטות יותר של יצורים חיים שונים שינויים מקריים, זעירים ומעניקי יתרון במאבק על הקיום. דרווין הציע מהלכים נוספים, שאף הם מתבססים על ברירה טבעית ומביאים להתפתחותם של אברים מורכבים, וחוקרים בני זמננו אישרו את תקפותם. מחקרים חדשים בשאלה זו מתקיימים היום במעבדות רבות ונידונים בספרות המקצועית.

"הבריאתנים חסידי 'התכנון התבוני' מודים כי ההסבר הטבעי היחיד להתפתחות החיים הוא אכן אבולוציוני, אולם הם שוללים את עצם האפשרות שיש הסבר טבעי לארגון המורכב של המערכת החיה הראשונית. ארגון כזה לא יכול היה להתפתח בדרך אבולוציונית, מכיוון שתפקודן של המערכות החיות תלוי בקיום הבו-זמני של כל חלקיהן. די שחלק אחד ייעדר, והמערכת החיה לא תוכל לתפקד ולהשתתף במשחק הברירה הטבעית. לפיכך, מערכות מורכבות מסוג זה היו יכולות להיווצר מלכתחילה רק בשלמותן, על בסיס אינפורמציה קודמת שהיתה 'בידיו' של מתכנן תבוני עליון"

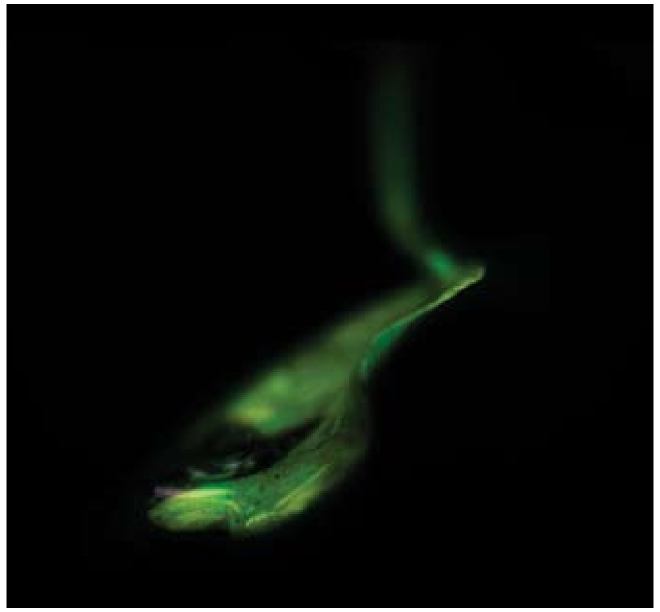
בריחה טבעית בחומר הדומם?

האם המעבר מדומם לחי דומה להיווצרות "מערכות ביולוגיות מורכבות במיוחד" באמצעות ברירה טבעית? מה למנגנון הברירה הטבעית ולמוצא החיים? לכאורה, מדובר בפרדוקס: הברירה הטבעית פועלת באוכלוסיות של מערכות חיות המתפקדות על כל מרכיביהן. ברירה טבעית הרי דורשת מערכת חיה של ממש. אם כך, איך מערכת חיה כזו יכולה היתה להתפתח מלכתחילה?

מהלך כזה אפשרי רק אם התפתחו בעבר הרחוק ישויות כימיות שקיימו שני תנאים. הראשון, הן עדיין לא היו מערכות חיות במלוא מובן המילה ועדיין לא הפגינו את האינטרקציה המורכבת אותה אנו פוגשים בתא חי. השני, הן היו בעלות מאפיינים שאפשרו להן לעבור אבולוציה בדרך הברירה הטבעית. המחקר המדעי מתמקד, לפיכך, במערכות כימיות שהיו יכולות להיווצר בלי קושי על הארץ הקדומה ועדיין לא היו תוצר של אבולוציה, אך היו עשויות להשתתף בתהליך.

בשנות השישים ביצע הביוכימאי האמריקאי סול שפיגלמן (Spiegelman) ניסוי שהפגין "אבולוציה במבחנה" באוכלוסייה של מולקולות RNA. שפיגלמן בודד מתא של חיידק מעיים נפוץ (Escherichia coli) את מרכיבי מערכת השכפול של וירוס, התוקף חיידק זה ומתרבה בתוכו. מערכת שכפול זו כוללת את הגנום (החומר הגנטי) של הווירוס העשוי RNA, ואת האנזים המשכפל גנום זה. לאחר שהוסיף למערכת המבודדת את אבני הבניין של ה־RNA, הדרושות לצורך יצירת מולקולות RNA חדשות,

החומר הגנטי בכל התאים החיים הוא ה־DNA. במספר וירוסים החומר הגנטי הוא RNA. עקרון השכפול בשתי חומצות גרעין אלה הוא זהה.



הצליח שפיגלמן להדגים תהליך הדומה לזה המתרחש בתוך תא החיידק. במבחנה נוצרו עותקים רבים של מולקולת ה־RNA של הווירוס, כאשר הגנום המקורי מתפקד כתבנית.

כפי שקורה בתוך תא החיידק, בתהליכי השכפול החוזרים של החומר הגנטי במבחנה התרחשו במולקולות ה־RNA מוטציות שונות. מוטציות אלה התבטאו בתכונות חדשות של עותקים גנטיים מסוימים, שנחשפו כאשר שפיגלמן שינה את "תנאי הסביבה" במבחנה. מספר עותקים היו עמידים לטמפרטורה גבוהה יותר ממולקולת המקור. עותקים אחרים גילו עמידות בפני גורמים מעכבי שכפול ובפני אנזים המפרק את מולקולת ה־RNA המקורית של הווירוס. מכיוון שעם שינוי התנאים נבררו עותקים גנטיים שהיו בעלי יתרון יחסי בהשוואה לאחרים, ואשר המשיכו לשכפל יתרון זה ולהעבירו ל"צאצאיהם", במבחנה התפתחה אוכלוסייה חדשה של מולקולות RNA המותאמות לתנאיהן החדשים. ניסויים אלה שהוכיחו "אבולוציה במבחנה" נתנו דחיפה גדולה לכיוון הגנטי במחקר מוצא החיים.

הניסויים של שפיגלמן ושל חוקרים אחרים בשנות השישים והשבעים הבהירו, כי ברירה טבעית יכולה לפעול ולהביא לאבולוציה לא רק באוכלוסייה של אורגניזמים, אלא גם **באוכלוסייה של מולקולות** ושל כל קבוצת ישויות הממלאות תנאים ההכרחיים לברירה טבעית: א. שכפול או התרבות; ב. יצירת שונות בצאצאים; ג. הורשה של שונות זו; ד. יתרון יחסי המוקנה על־ידי כמה מהשינויים; ה. תחרות על המשאבים הדרושים לשכפול.

בעקבות ניסויים אלה והתפתחויות מדעיות נוספות משוכנעים חוקרי מוצא החיים למחנותיהם השונים, כי **גורם מרכזי בהתהוותו של ארגון ביולוגי ראשוני היה מנגנון הברירה הטבעית**. הוויכוח בין ה"גנטיציסטים" ל"מטבוליסטים" מתמקד בשאלה, מה היה אופיים של שלבי הביניים, **איזו תשתית כימית היתה עשויה להתפתח על הארץ הקדומה בתהליכים פיזיקליים וכימיים ולאפשר אבולוציה באמצעות ברירה טבעית.**

גם ביצה וגם תרנגולת

מחקרים בשנות השמונים גילו במפתיע בתאים עכשוויים מולקולות RNA שמתפקדות לא רק כנושאות אינפורמציה, אלא גם כאנזימים המזרזים ריאקציות חשובות בתא. עד אז היה ידוע כי רק חלבונים יכולים לתפקד כאנזימים. גילוי מולקולות RNA אלה, שזכו לשם "ריבוזימים" (RNA enzymes: Ribozymes), הוביל לניסוח השערה, לפיה הריבוזימים הם שרידים של עולם כימי קדמון. בשלב מוקדם של התהוות החיים לא DNA ולא חלבונים היו האחראים על פונקציית השכפול ועל הזירוז האנזימטי, אלא דווקא מולקולות RNA. השערה זו סיפקה פתרון אלגנטי לבעיית הביצה והתרנגולת, מכיוון שעל־פיה ה־RNA שימש בשלב מוקדם זה **ביצה ותרנגולת כאחד**. תומכי השערה זו סבורים כי הן החלבונים והן ה־DNA התפתחו בשלבים מאוחרים יותר, על בסיס תהליכי אבולוציה בעולם ה־RNA.

האופטימיות שליוותה את גילוי הריבוזימים התבררה כמוקדמת מדי. נמצא כי רבות מהדרישות של עולם ה־RNA, שהעיקרית שבהן היא התפתחות של מולקולת RNA שתתפקד כאנזים המסוגל לשכפל את עצמו, אינן סבירות. כמה מהמדענים המובילים את מחקר עולם ה־RNA, ביניהם הכימאי הגדול לזלי אורגל (Orgel) (שנפטר ב־2007), קבעו שמולקולת ה־RNA כה מסובכת ושיצירתה ה"פרביוטית" כרוכה במכשולים כה רבים, עד כי יש הכרח להניח כי קדמו לה מולקולות פשוטות יותר, והן אלה שתפקדו כחומר גנטי ראשוני. יצוין כי אורגל ו"גנטיציסטים" אחרים מעולם לא פקפקו בצורך בתשתית גנטית – בפולימר גנטי כלשהו, המסוגל להכפיל את עצמו באמינות ועם זאת לאפשר בתהליך זה היווצרות מוטציות, שעשויות להביא לתכונות חדשות יתרוניות. אלה ייבררו בהמשך על־ידי הסביבה מכלל אוכלוסיית המולקולות.

ה"מטבוליסטים" מציעים תשתית מסוג אחר להיווצרות החיים. הם מעלים את ההשערה, כי בתהליך התהוות החיים הבסיס לברירה הטבעית היה שונה מזה הקיים בתאים בני זמננו. במקום פולימר גנטי שהופעתו מאוד לא סבירה, התפתחו, לדעתם, בקלות יחסית מכלולים מטבוליים ששכפלו את עצמם. אלה הורכבו משרשרות קצרות דמויות־חלבון או ממולקולות אורגניות פשוטות אחרות, למשל מרכיבים שומניים. בתסריטים אלה לא מדובר בשכפול על־ידי יצירת עותק משלים למולקולת תבנית, אלא בשכפול **המכלול כולו** על־ידי זירוז הדדי של תהליכים כימיים המרכיבים את המעגל המטבולי. ריאקציות מסתעפות מן המעגל שהיו עשויות להופיע, אם כי בתדירות נמוכה מאוד, תפקדו, על־פי השערות אלה, כמעין מוטציות ויצרו מכלולים שתוצריהם הכימיים שונים. המכלולים ששכפלו את עצמם ביתר יעילות היו אלה שנבררו, שרדו והמשיכו בפעילותם. המטבוליסטים סבורים כי האבולוציה של המכלול המטבולי היא שאפשרה בהמשך יצירת חומר גנטי ושכפולו ומַעֲבר לאבולוציה המוכרת כיום.

אחת מקבוצות המחקר הבולטות בתחום פועלת בישראל במכון ויצמן, בראשותו של הפרופסור דורון לנצט.

ההכרעה בין שני המחנות תושג רק על בסיס המשך העבודה הניסויית בתחום. חשוב להדגיש שהחוקרים משתי האסכולות מאמינים במציאת פתרון חומרי־טבעי לשאלת טיבה של התשתית הכימית שקדמה לחיים, ומשוכנעים שהתהוות החיים היתה חלק מן התהליך האבולוציוני. הנחה פילוסופית זו עומדת בבסיס העבודה המדעית הניסיונית.

מעבדה אורגנית קוסמית

זה כמה עשורים סבורים רוב חוקרי מוצא החיים, כי בניגוד לתפיסה שרווחה בשנות החמישים והשישים, התנאים על כדור הארץ הקדום לא היו נוחים ליצירת אבני הבניין האורגניות הדרושות להתהוות החיים. במקביל, הצטברו נתונים אסטרונומיים המצביעים על ענני גז ואבק בין־כוכביים כאתרים בהם נוצרות תרכובות אורגניות רבות, חלקן בעלות רלוונטיות ביולוגית. העובדה שחומצות אמיניות ותרכובות נוספות התגלו במספר מטאוריטים שהגיעו לכדור הארץ מן החלל, מחזקת את הדעה, המקובלת היום על החוקרים, כי "יבוא" מן החלל יכול היה להיות המקור העיקרי לתרכובות אורגניות על פני האדמה. אין לבלבל בין טענות אלה לבין השערת הטרנספרמיה ("מעבר זרעי חיים"). לפי השערה זו, שטרם הוכחה בשלב זה, תאים חיים שנוצרו על מאדים, למשל, היו יכולים להגיע לכדור הארץ על גבי גושי סלע ענקיים, שנדדו בין הפלנטות בראשיתה הסוערת של מערכת השמש. אין גם לבלבל בין השערת הטרנספרמיה, הניתנת לבדיקה ניסיונית, לרעיונות הפאנספרמיה ("זרעים בכל מקום"), שהועלו על־ידי פיזיקאים במפנה המאה ה־19. אלה טענו, כחלק מן הקוסמולוגיה שרווחה בזמנם, כי היקום והחיים הם נצחיים, ושזרעי חיים הנודדים בין גופים שמימיים שונים הגיעו גם לכדור הארץ.

אבולוציה מול בריאתנות

כנגד התיאוריה האבולוציונית מתנהל מאבק ממושך על־ידי התנועה הבריאתנית (בריאתנים, Creationists). הפונדמנטליסטים הנוצרים בארה"ב הם נושאי הדגל של תנועה זו, אולם בשנים האחרונות רעיונות אלה קונים להם אחיזה גם בחלקי עולם אחרים. בין השאר פועל מרכז בריאתני מוסלמי שמושבו בטורקיה, ויש לבריאתנים גם נציגים יהודים המופיעים בתקשורת לסוגיה. מתנגדי האבולוציה תוקפים את המהלך האבולוציוני כולו, ובעיקר את המעבר מדומם לחי .

הבריאתנים האמריקאים פועלים במישורים פוליטיים ומשפטיים, ברמה הלאומית והמקומית כאחת. הם החלו בניסיון לסלק את לימודי האבולוציה מבתי הספר הציבוריים ב"משפט הקופים" ב־1925, וכאשר נואשו מכך, התחילו לדרוש "זמן שווה" להוראת "מדע הבריאה". לאחרונה הם מקדמים את רעיון "התכנון התבוני" (Intelligent Design), שבבסיסו רעיונות תיאולוגיים ישנים שהולבשו בחליפה "מולקולרית־מדעית" חדשה.

משפט הקופים התנהל ב־1925, בעיר דייטון במדינת טנסי כנגד המורה ג'ון סקופס, שלימד את תיאוריית האבולוציה הדרוויניסטית בבית־הספר בניגוד לחוק המדינה. האיסור על הוראת האבולוציה בבתי־הספר הציבוריים בוטל על־ידי בית־ המשפט העליון בארה"ב ב־1968, לאחר שנקבע כי הוא מנוגד לחוקה.

הבריאתנים החדשים מודים כי ההסבר הטבעי היחיד להתפתחות החיים הוא אכן אבולוציוני, אולם הם שוללים את עצם האפשרות שיש הסבר טבעי לארגונן המורכב של מערכות ביולוגיות, ובעיקר של המערכת החיה הראשונית. לטענתם, ארגון כזה לא יכול היה להתפתח בדרך אבולוציונית, מכיוון שתפקודן של המערכות החיות תלוי בקיום >>

"בעקבות ניסויים אלה והתפתחויות מדעיות נוספות משוכנעים חוקרי מוצא החיים למחנותיהם השונים, כי גורם מרכזי בהתהוותו של ארגון ביולוגי ראשוני היה מנגנון הברירה הטבעית. הוויכוח בין ה"גנטיציסטים" ל"מטבוליסטים" מתמקד בשאלה, מה היה אופיים של שלבי הביניים, איזו תשתית כימית היתה עשויה להתפתח על הארץ הקדומה בתהליכים פיזיקליים וכימיים ולאפשר אבולוציה באמצעות ברירה טבעית"

<< הבו־זמני של כל חלקיהן. די שחלק אחד ייעדר, והמערכת החיה לא תוכל לתפקד ולהשתתף במשחק הברירה הטבעית. לפיכך, לשיטתם, מערכות מורכבות מסוג זה היו יכולות להיווצר מלכתחילה רק בשלמותן, על בסיס אינפורמציה קודמת שהיתה "בידיו" של מתכנן תבוני עליון.

אחד ממובילי תנועת התכנון התבוני, מייקל ביהי (Behe), טוען כי "לפני כארבעה מיליארד שנים יצר המתכנן את התא הראשון, שכבר הכיל בתוכו את כל המערכות הביוכימיות המורכבות". מרבית המערכות האלה לא "הופעלו" בתחילה, טוען ביהי, אלא הפכו להיות פעילות בשלב מאוחר יותר. בניגוד לבריאתנים המסורתיים, שרובם דבקים בסיפור ספר "בראשית" באופן מילולי, הבריאתנים החדשים, כדברי אחד ממנהיגיהם, פיליפ ג'ונסון (Johnson), לא מתעניינים כלל בשאלות "טכניות" כגיל כדור הארץ וגילם של החיים, אלא רק בגורם התכנון והמטרה. "**בריאתן**", אומר ג'ונסון, "**הוא אדם המאמין שהעולם, ובעיקר האנושות, תוכננו מראש וקיימים לצורך מטרה** (for a purpose)".

מרבית הפילוסופים של המדע והמדענים שמנהלים ויכוח עם הבריאתנים מתעלמים מאופיו הפילוסופי של הקונפליקט ובוחרים להצביע על הנתונים הביוכימיים והאבולוציוניים הניסיוניים, כדי להפריך את טיעוניהם של הבריאתנים. בכך הם דבקים בגישה פוזיטיביסטית, לפיה המדע מתמצה בפעילות אמפירית, באישושן הניסיוני של היפותזות ובביסוס התיאוריות המדעיות על נתונים ניסיוניים, והוא חסר כל מימד מטפיזי. בניגוד לתחום האבולוציה הביולוגית, שנתפס על־ידי המדענים כמבוסס ותקף לחלוטין, התיאוריות המוצעות בתחום מוצא החיים עדיין לא אוששו אמפירית, ושאלת התהוות החיים נותרה עדיין פתוחה. עובדה זו הופכת את הנושא, בעיני חלק מהם, ל"בטן הרכה" של הגישה האבולוציונית. תחושתם היא שמוטב להמתין ולא להתמודד עם הבריאתנים בשאלה זו, כי לא ניתן בינתיים "להוכיח" למאמין בהתערבות אלוהית ישירה בבריאת החיים כי מדובר במהלך טבעי.

גישה זו מתעלמת מכך שלא ניתן להוכיח כי החיים התהוו במהלך טבעי. גם כאשר חוקרים יצליחו לשחזר מהלך טבעי שיביא ליצירת מערכת חיה במעבדה ויבהירו כי מהלך מעין זה היה עשוי להתרחש על הארץ הקדומה, עדיין יוכל הבריאתן לטעון כי המתכנן העליון הוא אשר הפעיל את השפעתו "מאחורי הקלעים".

האמונה שאין צורך בהסבר "על־טבעי" וכי הסבר טבעי הוא אפשרי, גם אם עדיין לא מצאנו הסבר כזה, מבטאת השקפת עולם נטורליסטית חומרית. השקפת עולם זו שצמחה החל מהמאה ה־17 והתפתחה כהשקפה אבולוציונית מהמאה ה־19 ואילך, נתמכת היום על־ידי גוף נתונים אדיר מכל תחומי המדע. מסגרת פילוסופית זו היא הבסיס לעבודה מדעית רחבה, ובכללה מחקר מוצא החיים, ונתונים המצטברים מדי יום מוסיפים לחזק אותה. לפיכך, עמדתו של המדע בשאלת מוצא החיים לא חלשה יותר מאשר בתחום האבולוציה הביולוגית.

מתי תיפתר שאלת מוצא החיים? ימים יגידו. ברור, עם זאת, כי הדרך היחידה לפתרון הבעיה היא בהמשך המחקר התיאורטי והאמפירי על בסיס השקפת העולם האבולוציונית. ■

iris.fry@gmail.com

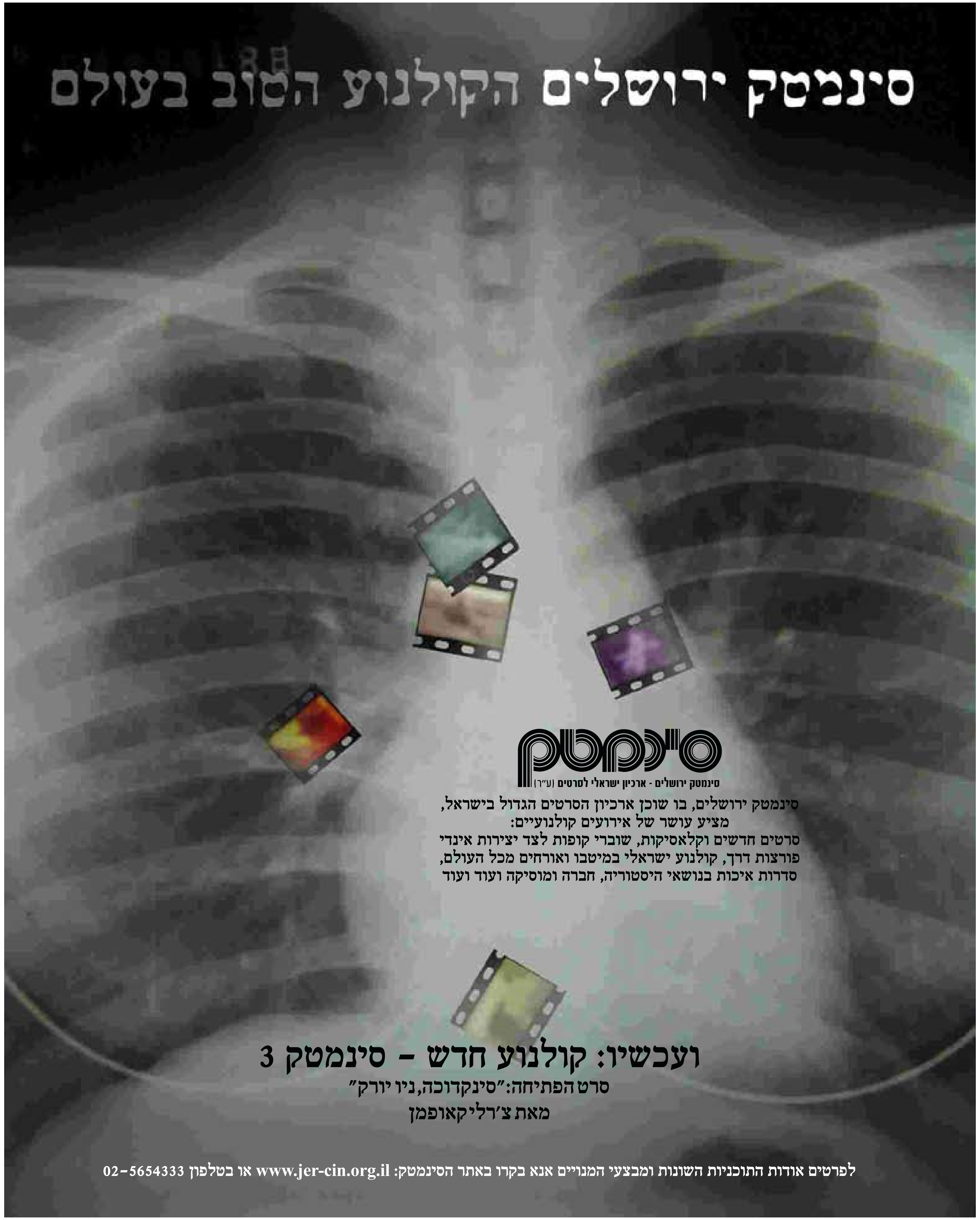
רוצים לדעת יותר?

כמה ספרים נוספים בנושא:

Graham Cairns-Smith. Seven Clues to the Origin of Life
A Scientific Detective Story. Cambridge University Press. 1985
התחקות אחר פתרון מוצא החיים כסיפור בלשי. ספר מתומצת, ברור ונפלא

איריס פריי. מוצא החיים – מסתורין או בעיה מדעית? אוניברסיטה משודרת, הוצאת משרד הבטחון, 1997

Iris Fry. The Emergence of Life on Earth: Historical and Scientific Overview. Rutgers University Press. 2000
ניתוח נושא מוצא החיים מבחינה היסטורית, מדעית ופילוסופית ואפשרות קיומם של חיים מחוץ לכדור הארץ



34

עדי מרקוזה-הס / צילומים: אורי גרשוני

האמנם שלא כדרך הטבע?

איך, למרות שאינם יכולים לסייע לרבייה המינית, לא הוכחדו ההומוסקסואלים והלסביות במהלך האבולוציה? ולמה הטבע (בניגוד לבני אדם רבים) אדיש ליחסים חד־מיניים?

"האהבה שלא תעז לומר את שמה" – האם היא מהטבע או לא? ולמה זה בכלל חשוב?

מתוך "שתי אהבות", לורד אלפרד דגלאס, (מאהבו של אוסקר ווילד)

■ "פשע נגד הטבע" הוא מונח משפטי המשמש לתיוג התנהגות מינית חריגה. המונח הופיע בספרי החוקים של רוב ארצות המערב עד לפני שנים לא רבות. הוא מתאר "**צורת התנהגות מינית שאינה נחשבת לטבעית**". המשפט המערבי מגדיר עבירה פלילית כאשר מתבצעת פגיעה באדם, ברכוש, בחברה או במדינה. רק במקרים נדירים עוסק החוק הפלילי בעבירה שאין בה נפגעים מוחשיים ושלא ניתן להצביע על הנזק הישיר הנגרם ממנה.

המינוח "פשע נגד הטבע" משמש לתיאור יחסי מין לא מקובלים, בין השאר להגדרת יחסים בין שני בני אותו מין. מהו ה"טבע" הזה, שמחוקקים בכל העולם יצאו להגנתו? מדוע אנשים כועסים כל־כך נוכח שני גברים או שתי נשים המקיימים ביניהם יחסי מין? האם יחסי מין כאלה הם אכן מחוץ ל"גדר הטבע"? ואם לא, מדוע בכל זאת סבורים אפילו אנשים משכילים כי הומוסקסואליות "אינה טבעית" וכי עצם קיומה מאיים ופוגע בסדרי עולם?

מעשים הנתפסים כמנוגדים לטבע נחשבים בתרבות האנושית למתועבים במיוחד. שייקספיר נתן לכך ביטוי בדברי רוח אביו הנרצח של המלט:

"Murder most foul as in the best it is, But this most foul, strange and unnatural"

[המלט, מערכה 1, תמונה 5]

המלט האב נרצח על־ידי אחיו. רצח הוא תמיד מעשה מתועב, אך רצח אח מתועב שבעתיים מאחר שהוא "לא טבעי". טבעי הוא הדבר המוכר והרווח בחיי היומיום. ככל שמעשה חריג יותר, הוא הופך ללא טבעי ואף מנוגד לטבע.

עיקרי העמדות הלא־דתיות הפוסלות יחסי מין בין בני אותו המין מתמצות בשתי קביעות מרכזיות:

"המינוח 'פשע נגד הטבע' משמש לתיאור יחסי מין, בין השאר להגדרת יחסים בין שני בני אותו המין. מהו ה'טבע' הזה, שמחוקקים בכל העולם יצאו להגנתו? מדוע אנשים כועסים כל־כך נוכח שני גברים או שתי נשים המקיימים ביניהם יחסי מין? האם יחסי מין כאלה הם אכן מחוץ ל'גדר הטבע'?"

א. יחסי מין בין בני אותו המין מנוגדים לדרך הטבע.

ב. יחסי מין כאלה פוגעים באבולוציה של המין ובסיכויי הישרדותו.

הטענה הראשונה ניזונה בעיקר מתחושת בטן, מזיהוי הרגיל והנפוץ עם הטבעי. המצב השכיח, זה שאנו מורגלים בו, הופך בעינינו לחוק טבע. אלא שבטבע יש מגוון גדול של צורות התנהגות מינית, והטרוסקסואליות אינה האפשרות היחידה הנהוגה בו.

התנהגות הומוסקסואלית נצפתה ותועדה בקרב שחפים, אווזים אפורים, פלמינגו, סוסים, דולפינים, קופי מקוק, קופי בונובו, שימפנזים, וכמובן – בני אדם. בכתב־העת של אוניברסיטת אורגון התפרסם באוגוסט 2005 מאמר המתאר התנהגות הומוסקסואלית אצל איילים. מגדלי כבשים שקנו בכסף טוב איילים בעלי ייחוס לטיפוח עדריהם, גילו למגינת ליבם שכמה מהם כלל לא נמשכו לכבשים, אלא דווקא לחבריהם הזכרים. קבוצת מחקר באוניברסיטה קיבלה מענק נכבד והתבקשה לפתח בדיקה שתאפשר לעמוד על נטייתם המינית של איילים צעירים, בטרם יימכרו להרבעה.

בטבע יש דוגמאות רבות להתנהגות שנחשבת בחברה האנושית לבלתי טבעית ואפילו מגונה. ישנם בעלי חיים שיחסי מין בתוך המשפחה הם המצב השכיח אצלם. גם הדיכוטומיה החדה בין זכר לנקבה, שבעינינו היא הדבר ה"טבעי", אינה תופסת בקרב קבוצות בעלי חיים, שאצלם מתרחשת החלפת מין בתוך מחזור החיים. ה"טבע", כפי שאנו קוראים לו בפמיליאריות לא מוצדקת, עשיר בהתנהגויות מיניות מגוונות. יחסים חד־מינים ודו־מיניים, גילוי עריות והחלפת מין, מונוגמיה ופוליגמיה, רבייה מינית ולא מינית – כל אלה הם דפוסים המתקיימים בטבע ומאפשרים דרכי הישרדות שונות.

הטענה השנייה, המדעית לכאורה, הינה מורכבת יותר. במאמר של מייקל לה־פייג' (Le Page) שהתפרסם בכתב־העת "ניו סיינטיסט" (New Scientist) באפריל 2008, ציטט המחבר טיעונים קלאסיים של המתנגדים להומוסקסואליות על בסיס אבולוציוני:

"שיקול הגיוני פשוט מראה כי האבולוציה אינה יכולה להסביר את ההומוסקסואליות – איך יכול גן להומוסקסואליות להיברר בפעולת הברירה הטבעית?... מדוע התכונות הגנטיות המקנות נטייה להומוסקסואליות לא נכחדו זה מכבר?"

מתנגדי היחסים החד־מיניים טוענים כי הברירה הטבעית בוררת תכונות שמגבירות את הסיכוי של כל יצור לשרוד ולהעמיד צאצאים. התנהגות מינית שאינה מאפשרת העמדת צאצאים, אינה יכולה לשרוד לאורך דורות ודינה להיעלם. אם הנטייה המינית של פרט מסוים היא לקיים יחסי מין עם פרט מאותו מגדר, הרי נטייה זו, אם אמנם היא מוכתבת על־ידי גנים, לא תעבור בתורשה לדור הבא, כי הדור הבא לא ייוולד. הומוסקסואליות, בראייה זו, מנוגדת לתיאוריית האבולוציה.

מהטיעון הכמו־אבולוציוני הזה נובעת מסקנה כי כל תכונה שמשמעותה הישירה היא אי־העמדת צאצאים, צפויה להיכחד. שתי הנחות מובלעות כאן ביחס לאבולוציה. האחת, שאם האבולוציה תקפה, כל מה שמפריע (או אפילו אינו תומך) להמשך קיום המין אמור להיכחד. השנייה, הישרדות המין לאורך דורות מותנית בכך שכל הפרטים בדור נתון יתרבו ויעמידו צאצאים פוריים.

באשר להנחה הראשונה: לא כל תכונה המונעת מפרט מסוים להעמיד צאצאים

>>

>> בעצמו, נכחדת בהכרח. ידועות דוגמאות לגנים שנוכחותם עשויה למנוע מפרט לקיים יחסי מין, ולמרות זאת גנים אלה שורדים באוכלוסיה לאורך דורות רבים. השערה סבירה אחת היא שגנים כאלה עשויים לתרום להישרדות בדרכים אחרות. יתר על כן, מחקרים בגנטיקה מראים כי לא כל גן הפוגע בפרט אכן נכחד בהכרח תוך זמן קצר.

גנים "מזיקים" קיימים ושורדים. לעיתים מתגלה שהם גם מועילים. הגן הגורם למחלה אנמיה חרמשית, כשהוא נמצא במנה אחת, מגן על הנשא מפני מלריה, עובדה המסבירה את הישארותו לאורך דורות באוכלוסיה האפריקנית

כאשר מדובר בבני אדם השאלה היא האם יש טעם להסביר דפוסי התנהגות רק במונחים של הישרדות והעברת גנים. כשבוחנים התנהגות חברתית של בני אדם לאורך הדורות, הרי שהשאלה איך עוברת נטייה הומוסקסואליות מדור לדור כלל אינה עולה. גברים, גם הומוסקסואלים, לוקחים נשים ומעמידים צאצאים בכל התרבויות והחברות, וזאת בלי קשר לשאלה מה הם מרגישים או למי הם נמשכים. רק סביב העשורים האחרונים של המאה ה־20, החלה להתפשט, בינתיים רק בחברה המערבית, אפשרות ממשית לחיי משפחה גלויים של זוגות חד־מיניים.

גם ההנחה שהישרדות המין מותנה בכך שכל הפרטים המשתייכים אליו יעמידו צאצאים, שגויה. אצל הנמלים, הדבורים והטרמיטים רק נקבה אחת בנחיל, ורק זכר אחד או זכרים מעטים מאוד, משתתפים בפועל בהעמדת הדור הבא. מינים רבים של יונקים חיים בקבוצות או בלהקות במבנה חברתי כלשהו, ומשותפת לכולם העובדה שרק מקצת הזכרים מפרים את הנקבות. המִכְּרְתָן העירום, יונק שחי במחילות באפריקה, חי בקבוצות של כעשרים פרטים לערך. כל קבוצה מונהגת על־ידי נקבה אחת, המאפשרת רק לזכר אחד (לפעמים לשניים־שלושה) להרביע אותה. שאר הזכרים לא מגיעים כלל לבגרות מינית; הם הפועלים השחורים של הקבוצה המשפחתית הזו, המכלים את ימיהם בחיפוש אחר מזון ובחפירת מחילות. מבחינת הישרדותו של המין, כלל לא משנה אם הם נמשכים לזכרים או לנקבות.

בטבע, אם כן, יתכן שיהיו פרטים המאופיינים בהתנהגות או בתכונות שאינן תורמות במישרין להעמדת צאצאים. האם אפשר להסביר את קיומן של תכונות כאלה בתרומה אחרת כלשהי להישרדות המין? מחקרים בדקו בהקשר זה שתי השערות: האחת, קיומם של זכרים הומוסקסואלים תורם להישרדות הקבוצה, ועקב כך, של המין, הודות להתנהגותם הלא־תחרותית. השנייה, פרטים (זכרים ונקבות) הומוסקסואלים תורמים לקיום השוטף של להקה משפחתית בסיוע בפעולות כגון חיפוש מזון או שמירה על צעירים. מחקרים מסוג זה מצביעים על ערך הישרדותי לדפוסי התנהגות חד־מיניים, כי התנהגות כזו משפרת את לכידותה החברתית של הקבוצה ובכך תורמת להישרדותה.

אם ההומוסקסואליות היא תכונה המצויה בטבע ואינה נמצאת בסתירה לאבולוציה, נשאלת השאלה באיזו מידה היא מעוגנת בפיזיולוגיה של בעל החיים שנולד איתה.

בדו"ח קינסי משנת 1948 נכתב כי אין חלוקה דיכוטומית בין הטרוסקסואלים להומוסקסואלים. קינסי מתאר התפלגות על רצף בן שישה מצבים. בקצה אחד – הטרוסקסואלי בלבד, כ־ 50% מהגברים, ובקצה השני – הומוסקסואלי בלבד, כ־ 13%. בין הקצוות נמצאים אלו המדווחים על מידה קטנה או גדולה יותר של התנסות, משיכה, תשוקה, או מגע הומוסקסואלי

מחקרים מהתקופה האחרונה מנסים לחשוף מאפיינים פיזיולוגיים של הומוסקסואליות בבעלי חיים שונים, כמו גם באדם.

מזה שנים ידוע כי התפתחות תקינה של מערכת הרבייה של עובר מותנית בין השאר בחשיפה למינון מסוים של הורמוני מין בשלבים מוקדמים מאוד של ההריון. עובר זכר גנטי (XY) שנחשף לרמות גבוהות מדי של אסטרוגנים ברחם האם בשבועות הראשונים להריון, יפתח סממנים נקביים חיצוניים ופנימיים (למשל אשכים שתפקודם לקוי), ולא יתפקד כזכר ממוצע. ההיפך נכון לגבי עובר נקבה גנטי (XX). הרלוונטיות של ממצאים אלה לדפוס ההומוסקסואלי השכיח לא ברורה, אף שהם עשויים להסביר מקרים של גבר המרגיש שהוא למעשה אישה, או אישה המרגישה שהיא גבר. רוב ההומוסקסואלים נראים ומתנהגים כמו בני המגדר שלהם, ומערכות המין שלהם תקינות: הגברים מסוגלים להזדווג ולהפרות והנשים מסוגלות להרות וללדת.

"ההנחה שהישרדות המין מותנית בכך שכל הפרטים המשתייכים אליו יעמידו צאצאים, שגויה. אצל הנמלים, הדבורים והטרמיטים, רק נקבה אחת בנחיל, ורק זכר אחד או זכרים מעטים מאוד, משתתפים בפועל בהעמדת הדור הבא. אצל מינים רבים של יונקים החיים בקבוצה, רק מקצת הזכרים מפרים את הנקבות"

את התשובה לנטייה החד־מינית יש לחפש לפיכך במקומות אחרים, ככל הנראה בשילוב הבדלים מולדים במבנים ספציפיים במוח, עם הבדלים מולדים בדפוסי הפרשת הורמונים, כאשר כל ההבדלים האלה נמצאים על רצף אפשרויות רחב בטווח הנורמלי.

קבוצת המחקר מאוניברסיטת אורגון שחיפשה הסבר להתנהגותם הלא־צפויה של האיילים מצאה בניתוח לאחר המוות במוחם של הזכרים ה"גאים", כי אזור מסוים בהיפותלמוס שלהם היה קטן בחמישים אחוז מאותו אזור במוחם של זכרים "רגילים". החוקרים ייחסו את התפתחות הנטייה ההומוסקסואלית באיילים לרמות נמוכות של אנזים מסוים הנוצר באזור זה במוח ואשר קשור לפעילות הורמונלית. במחקר של לינדסטרם וסוויק (Lindsröm, Savic), שהתפרסם ברשומות האקדמיה הלאומית למדעים של ארה"ב (PNAS) באוגוסט 2008 נמצאו הבדלים בהדמיות PET ו־MRI, בין האסימטריה במוחות של זכרים הומוסקסואליים לבין אלה של הטרוסקסואליים: מידת האסימטריה אצל הגברים ההומוסקסואליים דמתה יותר לזו הנמצאת במוחות של נשים.

הניסיונות לקשר הומוסקסואליות לשינויים ספציפיים בגוף האדם לא העלו עד עתה ממצאים מספקים. האם השינוי שנצפה במוחם של האיילים נוצר כתוצאה מהנטייה ההומוסקסואלית או הוא זה שיצר נטייה זו? אין בינתיים מסקנות חד־משמעיות והמחקרים שנועדו לגלות את מקור המשיכה לבני אותו מין נמשכים.

נחזור לרגע אל הטענה שההומוסקסואליות מנוגדת לטבע. נניח לצורך הדיון שיש בה ממש. מאחר שאנשים רבים רואים בטבע מקור למוסר, ומזהים את ה"טבעי" עם ה"טוב", הרי כל מה שמנוגד לטבע הינו בלתי מוסרי ומתועב.

האמנם ראוי שהטבע יהיה המקור לתפיסת המוסר שלנו? האמונה הדתית גורסת שכן. סדרי הטבע נוצרו על־ידי האל, הם מבטאים את רצונו ואין לערער עליהם. אנו לא עוסקים כאן בדיון תיאולוגי, אלא בתפיסת מוסר שאינה נשענת על הדת.

תורת המוסר המשפיעה ביותר בזמן החדש אינה מייחסת לטבע שום משקל לצורך ההכרעה המוסרית. עמנואל קאנט הניח את השאלה בדבר המעשה שראוי לעשותו, לפתחו של האדם. אין צורך לחפש "איך זה בטבע". שְׁאַל את עצמך האם המעשה שאתה עושה הוא כזה שתחשוב אותו לראוי גם אם אחרים יעשו אותו. אין צורך לחפש את התשובה מחוץ לאדם.

יתכן, כטענת דוקינס, שהאבולוציה הולידה בנו את היכולת לחוש האם מעשה הוא ראוי או אינו ראוי להיעשות . גם אם כך הדבר, המנגנונים הפועלים בטבע אינם רלוונטיים לשאלה מהו מעשה טוב ומה רע. הטבע אינו קנה־מידה למוסר. תפיסת המוסר נובעת מהאדם, היא בידנו ובאחריותנו בלבד.

ומה אמר על כך דרווין? אף לא מלה על מוסר או על ההתנהגות הראויה לאדם. במקום זאת הוא מדבר בסוף ספרו דווקא על גיוון ועל יופי:

"כמה מרתק לשקוע בהתבוננות בגדה מכוסה סבך, עוטה שפעת צמחים מסוגים שונים, עם ציפורים שרות על השיחים, עם חרקים שונים המתעופפים לכל עבר ... ולחשוב כי צורות אלה, הבנויות באורח כה מתוחכם, כה שונות זו מזו, ותלויות זו בזו באופן כה מורכב, נוצרו כולן בשל חוקים הפועלים מסביבנו... יש מן הגדולה בתמונה זו של החיים, על כוחותיהם השונים, אשר הופחו תחילה בגופן של צורות מעטות, או של צורה אחת בלבד; ואשר, בעוד כוכב הלכת הזה סובב במחזורו בהתאם לחוק הקבוע של הכבידה, התפתחו מתוך התחלה כה פשוטה לאינסוף צורות יפות ללא גבול, נפלאות ללא גבול, שעודן מוסיפות ומתפתחות."

['מוצא המינים', מהדורה ראשונה, תרגום עדי מרקוזה הס, מובאה בספר "כמעט כמו לוויתן" מאת סטיב ג'ונס, הוצאת ספרי עליית הגג וידיעות אחרונות] ■

cobyhaas@netvision.net.il

עדי מרקוזה–הס היא מתרגמת ועורכת ספרי עיון ומחברת ספרי לימוד בביולוגיה. בעלת תואר מוסמך בביולוגיה מולקולרית

”בבסיס השאיפה והאפשרות לחיי נצח וירטואליים נמצאת תפיסת העולם הדואליסטית הקלאסית, לפיה קיימת הפרדה בין הגוף והנפש, בין עולם החומר לעולם הרוח. מעבר לכך, ההנחה המובילה בעמדה זו (באופן מובלע יותר או פחות) היא כי הגוף הוא נספח מיותר ופחות ערך, וכי הנפש, או בגלגולה המודרני – התודעה, היא המהות האמיתית של האדם”

דימוי: מתוך הקליפ – Bjork, “All is Full of Love”
בימוי: כריס קאנינגהם

לקראת חיי נצח

המונח הוא אבולוציה תרבותית. המחשב ורשת האינטרנט הם הכלי האולטימטיבי להעברת מידע חיוני מדור לדור, שלא דרך הגנים. פיתוח טכנולוגי המעניק לאדם יכולת התמודדות והישרדות בתנאים משתנים המועברת באופן מלא לצאצאיו. עוד שלב בהעברת משקל התהליכים האבולוציוניים מסלילי ה־DNA אל המערכת התרבותית והטכנולוגית מעשה ידי אדם

■ אנו יצורים טכנולוגיים. למן האבן הראשונה שבה השתמש האדם הפרהיסטורי, דרך גלגל העץ הראשון ועד למאיצי חלקיקים שמנסים לשחזר את ימיו הראשונים של היקום, ארוגה הטכנולוגיה לתוך תולדות המין האנושי ברקמה הדוקה וצפופה. קשר זה הולך ומתחזק עם ההאצה בקצב התקדמות הטכנולוגיה וכניסתה לעוד תחומים בחיינו. כבר לא מדובר בכלים חיצוניים העומדים לשירות האדם. הטכנולוגיה היא חלק ממהות האדם, מזהותו כבעל חי שמערכות ממוחשבות מרחיבות כמעט ללא גבול את כישוריו ומרחב פעולתו.

סייברספייס חדש מופלא

המונח ”סייברספייס” הוטבע על־ידי סופר הסייבר־פאנק ויליאם גיבסון בסיפור קצר שפורסם בשנת 1982. גיבסון תיאר את הסייברספייס בספרו רב־ההשפעה ”נוירומנסר”, שיצא שנתיים מאוחר יותר כ”**הזיה כל־חושית שחווים אותה יום־יום ביליוני מפעילים חוקיים, מכל אומה, ילדים הלומדים מושגים מתמטיים... ייצוג גרפי של מידע, שמופשט מתוך המאגרים של כל מחשב ומחשב בתוך המערכת האנושית. מורכבות לא־נתפסת. קווי־אור פרושים באיי־חלל של הנפש, צבירים ומערכות של נתונים**”. זהו מקום של שחרור מכבלי הגוף, עולם חלופי בעל עוצמה וחיות חזקים יותר מאשר העולם הפיזיקלי ה”אמיתי”, העלוב והכאוטי. עולם שניתוק ממנו, כמו שחווה גיבור הספר, הוא נפילה מגן העדן.

הסופר ברוס סטרלינג, בספרו The Hacker Crackdown העוקב אחר המאבק של כוחות הביטחון של ארה”ב בשנת 1990 בהאקרים ובפושעי מחשב, מתאר את הסייברספייס בהקשר שונה כדימוי של רשת הטלפונים. סטרלינג מסביר כי הסייברספייס הוא המקום בו מתרחשת שיחת הטלפון. מקום זה אינו מתקיים בטלפון של דובר זה או אחר – זהו המרחב ש**בין הטלפונים**. בעולם הממוחשב, הסייברספייס הוא מרחב של מידע המתקיים בשום־מקום של רשתות המחשבים. זהו מקום ללא ”מקום”, חלל בעל נוכחות אשר נמצא במקביל או מחוץ לעולם הפיזי, מקום בו מתרחשת תקשורת, בו מופיע המידע בצורתו הטהורה.

עם יציאתה של רשת האינטרנט מגבולות האקדמיה אל העולם המסחרי בשנות ה־90 של המאה הקודמת, החלו חזיונות הסייברספייס של סופרי מדע בדיוני כגיבסון, סטרלינג וורנור וינג' להתממש במציאות. הסייברספייס הפך, באופן מתבקש, למטאפורה מרכזית בהתמודדות עם מרחב המידע החדש שיצרו האינטרנט וה־WWW. ההשפעה של ספרות הסייבר־פאנק היתה גדולה במיוחד בקרב אנשי מחשבים, עד שהפכה לגורם מעצב בהתפתחותה של הרשת (עולמות וירטואליים כמו Second Life, למשל, פותחו בהשראת ספר המדע הבדיוני Snow Crash של ניל סטפנסון). רשת האינטרנט נתפסה כהתגלמותו של הסייברספייס, והשניים הפכו למונחים מקבילים כמעט – רשת האינטרנט כתשתית, התווך הפיזי, אסופת המחשבים המקושרים זה לזה בכבלים עבים בהם זורמים אלקטרונים. הסייברספייס כאותו מרחב מידע שאנו נמצאים בו כשאנו גולשים ברשת האינטרנט, מרחב שאנו נכנסים אליו ולפעמים מתקשים לצאת ממנו. במישור הפיזי, הדפדפן שלנו מקבל תשובה ממחשב מסוים דרך קו תקשורת כזה או אחר. אולם למעט במקרים של תקלות, עובדה זו אינה נוגעת לנו. אנו נשאבים לתוך עולם של אתרים, קישורים, מילים, תמונות, אינטראקציות חברתיות. אנו פשוט נמצאים בתוך ”הרשת”.

בעוד מרבית ספרות הסייבר־פאנק מתארת עולם דיסוטופי וקודר, הרי שכמטאפורה לאינטרנט, משמש הסייברספייס בעיקר כחזון אוטופי. אנשים מרכזיים בעולם האינטרנט, דוגמת קווין

סייבר־פאנק – זרם בספרות המדע הבדיוני. Cybernetics ו־Punk. **עיסוק בטכנולוגיה (בעיקר ממוחשבת) בשילוב גישה אנטי־ממסדית וחיבה עזה לשולי החברה.**

>>

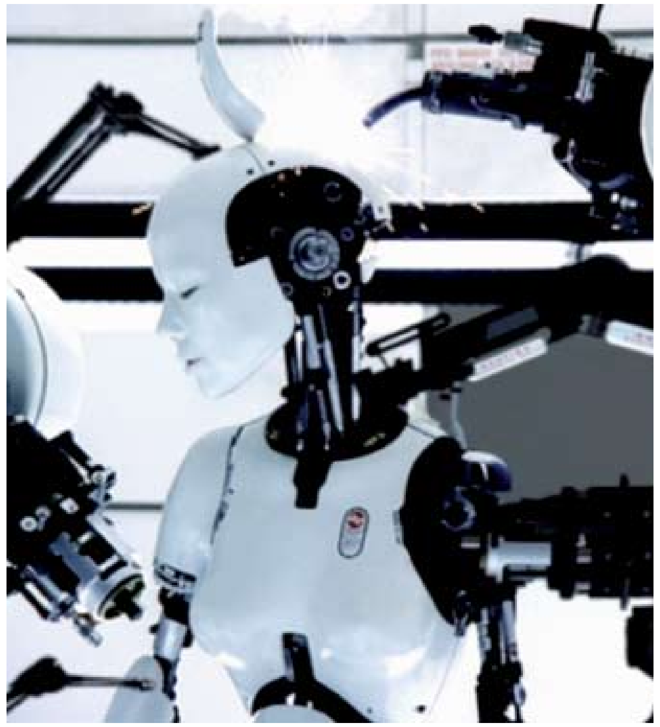
קלי (מייסד מגזין "ווייירד") ומדעני מחשב כמו מארק פשה (ממציא שפת התלת־מימד VRML) ומייקל בנדיקט (פרופסור למדעי המחשב באוניברסיטת אוקספורד) רואים בסייברספייס מרחב של חוויה רוחנית ומדברים עליו במונחים של קדושה. פשה חושב, למשל, כי הסייברספייס מעורר את החלקים האלוהיים שלנו. מייקל בנדיקט אומר כי הסייברספייס יכול להוות התגלמות דיגיטלית של "ירושלים החדשה", אוטופיה שמיימית של תבונה וידע.

מייקל היים, פילוסוף העוסק בחקר עולמות וירטואליים, מתאר את המשיכה של האדם אל הסייברספייס כמשיכה אירוטית. היים אומר כי הסייברספייס מרתק אותנו לא רק באופן אינטלקטואלי, אלא הוא שובה את ליבנו. "**ליבנו פועם בתוך המכונה**", אומר היים. אנו שואפים להתרחב, לצאת מעבר לעצמנו, מעבר לגבולות הפיזי. זהו הדחף הארוטי – הרצון לצאת מחוץ לסופיות של קיומנו – דחף בסיסי ועמוק שטבוע בנו כבני אדם. הארוס עומד בבסיס השאיפה הכללית של האדם להרחיב את גבולות קיומו ומושך אותנו אל העולמות הוירטואליים. הסייברספייס, אומר היים, נושא איתו את אותה הילה מפעימה ומעוררת כבוד שפעם ייחסנו לחוכמה ולתבונה. כמו עולם האידיאות של אפלטון, הסייברספייס הוא מרחב של מידע ושל צורה, עולם נעלה של ידע טהור. לעומת הקיום הגופני שמלא בחוסר ודאות ובמקריות, קיום בו רב הנסתר על הנגלה, מצטייר הסייברספייס כעולם מסודר ומבהיק העונה לכללים מובנים ולתבניות מוגדרות. זהו עולם שאת חוקיותו הבסיסית אנו מסוגלים להבין ולדעת, עולם שמספק לנו ודאות שבתוכה אנו מסוגלים לנוח. אידיאל זה של הסייברספייס הוא האידיאל שאליו שואפת נפשנו – שחרור מהגוף, הימלטות מהבלבול של הבשר אל מרחב מתמטי של תודעה טהורה, של ידיעה מוחלטת וחובקת־כל.

חזון העצמות הווירטואליות

הסייברספייס הגיח לעולם כמדע בדיוני, אך עם הופעת רשת האינטרנט תפס מקום כאחד המרכיבים העיקריים אשר ייטלו חלק בעתיד האנושות. האבולוציה הביולוגית של האדם אולי מאיטה, אך אין זה סוף התפתחותו של האדם. אולי להיפך. מוקד האבולוציה נע משדה הביולוגיה אל המרחב הטכנולוגי, ושם, באופן מואץ, ממשיך המין האנושי את מסעו (ראו מסגרת). זהו מסע שיוצא מגבולות הגוף לעבר מרחבים של מידע, מסע שיהווה קפיצה חסרת תקדים של התודעה האנושית. מסע שבסופו נהפוך במובן מסוים לבני אלמוות.

הרצון להימלט מהגוף הוא, בסופו של דבר, שאיפה להתחמק מצילו המאיים של המוות. שאיפה זו מופיעה בספרות הסייבר־פאנק בדמות היכולת "להעלות" גרסה דיגיטלית של העצמי לתוך הרשת, וכך להמשיך להתקיים לנצח בערבות האינסופיות של העולם הווירטואלי. וכפי שהסייברספייס זלג אל מחוץ לספרות, גם רעיון זה מתחיל לגייס לעצמו תומכים בעולם האמיתי. מדענים כמו הפרופסור לרובוטיקה, האנס



דימוי: מתוך הקליפ – Bjork, "All is Full of Love"
בימוי: כריס קאנינגהם

מוראבק, או מדען המחשב וסופר הסייבר־פאנק, רודי ראקר, מאמינים כי ניתן יהיה בעתיד לסרוק את תבניות המידע של התודעה האנושית באופן מלא ולהעביר את תודעתו של אדם לתוך המחשב.

חזון דומה מציג המדען והממציא, ריי קורצווייל. קורצווייל, יחד עם ורנור וינג', הוא מאבות תנועת הסינגולאריות, אשר טוענת כי קצב השינויים הטכנולוגיים גדל באופן מעריכי וכי אנו מתקרבים לנקודה בה השינוי יהיה כה מהיר ונרחב עד כי הקיום האנושי ישתנה ללא היכר. נקודה זו היא סינגולאריות (מונח שהושאל מתחום הפיזיקה), נקודה שהשינוי בה יהיה כל־כך עמוק עד שלא ניתן לצפות איך ייראה העולם אחריה (למרות שכמובן אנשי הסינגולאריות מנסים לנחש). אחד מהדברים העיקריים שחוזה קורצווייל הוא כי הטכנולוגיה תביא אותנו למצב בו נוכל להאריך את החיים לנצח. שילוב של ננו־טכנולוגיה, רובוטיקה ואינטליגנציה מלאכותית יאפשר לנו בשלב ראשון לתחזק את גופנו ולמנוע הזדקנות, ובסופו של דבר גם לחבר את התודעה האנושית אל המחשב ליצירת תודעה חדשה, מוגברת ונצחית. חיבור כזה יבטל, לדברי קורצווייל, את ההבחנה בין העולם ה"אמיתי" לבין המרחבים הממוחשבים של המציאות המדומה. זה יהיה עולם שכולו (גם) סייבר־ספייס.

פרופ' נפתלי תשבי מהמרכז לחישוביות עצבית באוניברסיטה העברית רואה את האפשרות לחיי נצח באופן שונה. התודעה שלנו, אומר

תשבי, אותו "אני פנימי", היא בעצם אשליה – התודעה לא היתה קיימת בעבר, היא משתנה כל הזמן, ויום אחד גם תפסיק להתקיים. את תחושת התודעה העצמית שלנו לא נוכל כנראה לשמר, ולא ברור אם היינו רוצים בכלל לשמר אותה. חיי נצח שמשמעם עצירת המוות הביולוגי, טוען תשבי, הם מתכון להתנוונות המין האנושי, עצירת כל התהליכים הדינמיים של החיים ויצירת חברה מזדקנת והולכת ללא יכולת התפתחות. חיי הנצח היחידים שניתן לדון בהם ברצינות הינם שימור ה"אני" הציבורי שלנו – יצירת כפיל וירטואלי שיוכל להמשיך לדבר בשמנו גם לאחר מותנו. תשבי מדמיין תוכנת מחשב אינטראקטיבית, שתכיל את כל עולם האסוציאציות הפנימי שלנו. התוכנה תִלמד אותנו במהלך חיינו, תכיל את זיכרונותינו ואת כל המרכיבים של עולמנו התרבותי והרעיוני. באמצעות מנוע חיפוש אסוציאטיבי וממשק וירטואלי שנראה כמונו, תוכל התוכנה לנהל דו־שיח בשמנו ולהשיב על שאלות באופן דומה לתשובותינו שלנו. זה יהיה עותק של הדובר הפנימי שלנו, שכפול של הביטוי החיצוני של תודעתנו, נטול תחושת תודעה עצמית. תשבי צופה כי ככל שיילך ויתחזק החיבור בינינו לבין המחשב עד שיגיע לרמה של חיבור עצבי ישיר, תלך ותפחת התלות של החוויות שלנו בגוף ובחושים, ויקל עלינו ליצור עותק ממוחשב של החוויות שעברנו. כך נוכל ליצור עולם וירטואלי שמכיל את סך חוויותינו וזיכרונותינו, איתו יוכלו אנשים אחרים להמשיך ולנהל אינטראקציה גם לאחר שגופנו ייעלם מן העולם. החיים הפיזיים שלנו יילכו וייאבדו מחשיבותם כאשר נהיה מודעים לכך שעולם החוויה שלנו ממשיך להתקיים אחרינו. כולנו נזכה למעשה לחיי נצח ציבוריים.

הגוף הוא המסך

חזון הסייברספייס וההבטחה לחיי נצח שטמונה בו הוא מפתה ומושך. אך זהו אינו חזון חדש. מרגרט ורטהיים, אשר עוסקת בחקר המדע וההיסטוריה, מציינת כי השאיפה לשחרור מהגוף מלווה את התרבות המערבית לאורך ההיסטוריה כולה, ומאפיינת במיוחד את המחשבה הנוצרית. ורטהיים טוענת כי הסייברספייס מהווה מבחינות רבות גלגול מודרני של הכמיהה הנוצרית למלכות השמיים (כמו שניתן לראות למשל בהתבטאויות של מייקל בנדיקט ומארק פשה שהוזכרו קודם לכן).

בבסיס השאיפה והאפשרות לחיי נצח וירטואליים נמצאת תפיסת העולם הדואליסטית הקלאסית, לפיה קיימת הפרדה בין הגוף והנפש, בין עולם החומר לעולם הרוח. מעבר לכך, ההנחה המובילה בעמדה זו (באופן מובלע יותר או פחות) היא כי הגוף הוא נספח מיותר ופחות ערך, וכי הנפש, או בגלגולה המודרני – התודעה, היא המהות האמיתית של האדם. הגוף הוא ארצי וארעי, הוא מגביל אותנו ומונע מאיתנו להתקרב אל האלוהות. הרוח היא המרכיב הטהור שאותו אנו מבקשים לזכך. זוהי >>

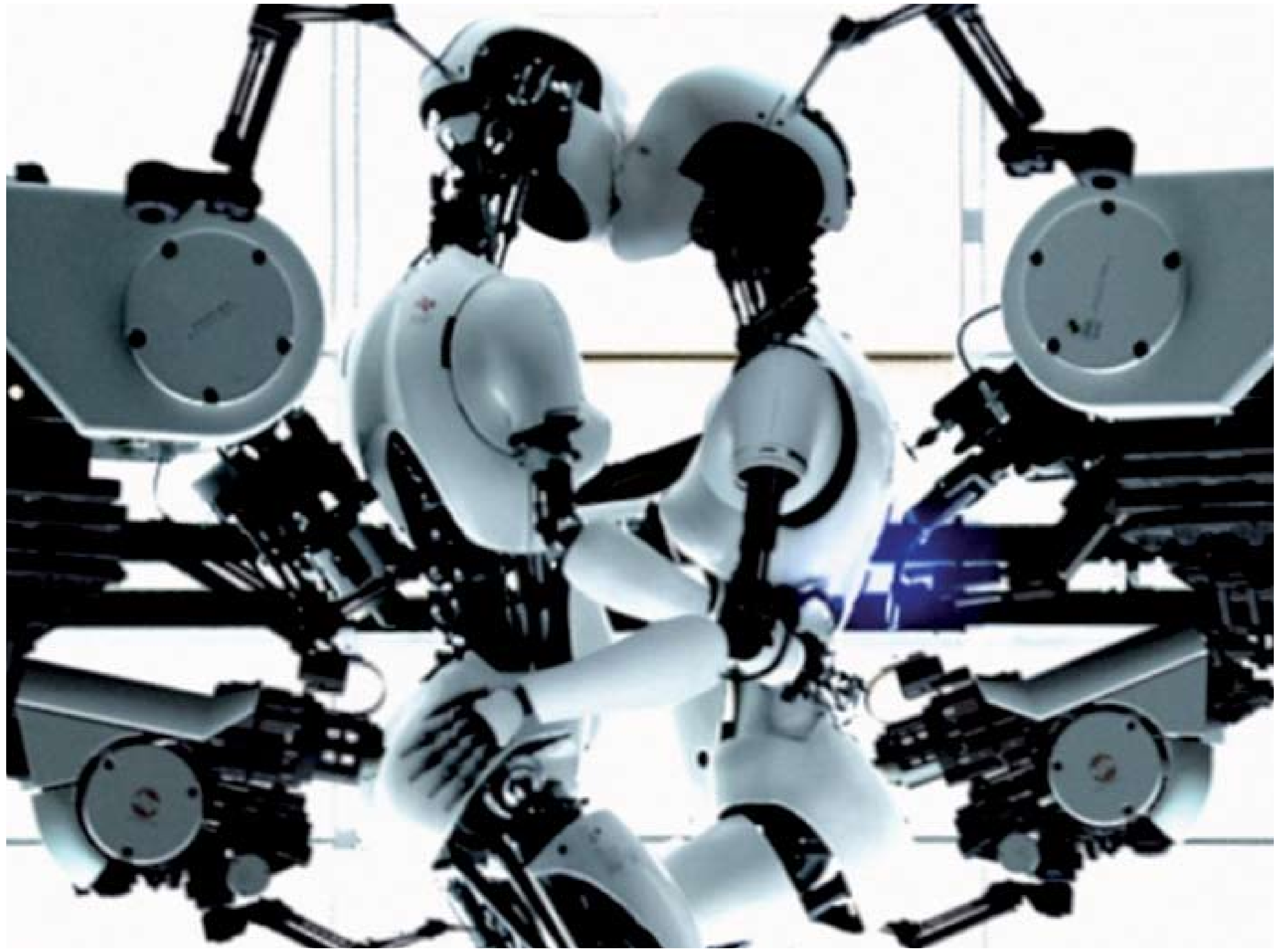
בין ביולוגיה לטכנולוגיה

בעוד המדענים נאבקים כדי להכריע האם האבולוציה הביולוגית של האדם נעצרה, כמו שטוענים למשל הביולוגים סטיב ג'ונס וסידני ברנר, או שמא היא דווקא מאיצה כפי שקובעים אחרים, קיימת הסכמה רחבה כי המין האנושי ממשיך להתפתח בקצב מואץ דרך אבולוציה חברתית, תרבותית וטכנולוגית. הטכנולוגיות והכלים שאנו עושים בהם שימוש מתפקדים כסוג של איבר חיצוני, כהרחבה של האדם. דרך הרחבות חיצוניות כאלה אנו מסוגלים להתאים את עצמנו לסביבתנו ולשרוד בתנאים משתנים באופן טוב יותר ומהיר יותר מאשר היה אפשרי דרך אבולוציה ביולוגית.

בחינה של התפתחות הטכנולוגיה עצמה מגלה בה תופעות מקבילות לאבולוציה הביולוגית. כמו באבולוציה הביולוגית, גם בזו הטכנולוגית אנו מגלים תהליך של התפתחות דרך מוטציות (של רעיונות), סיכוי מוגבר למוטציות כשתנאי הסביבה משתנים (רעיונות חדשים עם ריבוי בעיות במערכות הקיימות), ובחירה של המערכות המוצלחות ביותר מבחינת תפקוד, יכולת שכפול וייצור. קווין קלי, העורך המייסד לשעבר של מגזין "ווייירד", הוגה וטכנולוג, מונה עקרונות נוספים המשותפים לאבולוציה הביולוגית והטכנולוגית – השאיפה להתרחב ולהימצא בכל מקום, תנועה מהכלל אל הפרט, גדילה בסיבוכיות, התמחות, גיוון ויצירת מערכות חברתיות. בשל הדמיון הרב בין אופי האבולוציה הטכנולוגית לבין החיים עצמם, מציע קלי אף לראות בטכנולוגיה "ממלכת חיים" שביעית, בנוסף לסיווג המקובל של **שש ממלכות החיים הביולוגיים**.

פיטר מדוור, זוכה פרס נובל לרפואה, מבקש להדגיש דווקא את ההבדל בין האבולוציה הביולוגית לטכנולוגית. האבולוציה הביולוגית היא דרוויניסטית ופועלת דרך תורשה גנטית – ההוראות לייצור האורגניזם הביולוגי מתוכנתות בגנים ומועברות מדור לדור. האורגניזם יכול להשתנות כתוצאה מאינטראקציה עם הסביבה, אך שינויים אלה אינם מועברים באופן גנטי לדורות הבאים. האבולוציה הטכנולוגית, לעומת זאת, היא לאמארקית באופייה – היא מתרחשת באמצעות התודעה האנושית ומתבססת על יכולתנו ללמוד וללמד. אנו יכולים להעביר לדורות הבאים את הדברים שלמדנו במשך ימי חיינו אנו. בשל כך האבולוציה הטכנולוגית מהירה הרבה יותר מזו הביולוגית. לדברי מדוור, אין טעם בהבחנה בין אבולוציה ביולוגית וטכנולוגית (וגם תרבותית וחברתית). את שתיהן הוא מגדיר כסוגים של אבולוציה ביולוגית. ההבדל נעוץ בדרך העברת האינפורמציה – בראשונה היא גנטית ובשנייה לא.

שש ממלכות החיים – לפי הטקסונומיה המקובלת כיום, היצורים החיים מסווגים לשש ממלכות –
Archaea **(חיידקים קדומים)**, Eubacteria **(חיידקים אמיתיים)**, Prostista **(חד־תאיים שאינם חיידקים)**, Fungi **(פטריות)**, Plantae **(צמחים)** ו־Animalia **(בעלי חיים)**.



דימוי: מתוך הקליפ – Bjork, “All is Full of Love”
בימוי: כריס קאנינגהם

>> שאיפה אל הטרנסצנדנטליות, אל חיי רוח המתעלים מעל לגסות של עולם הגוף. הסייברספייס מגלם את המרחב החוץ־גופני שיכול לאפשר חיי רוח שלמים. שם נוכל לזנוח את הגוף ולהמשיך להתקיים כתודעה וירטואלית טהורה בלבד.

כך, לאחר שנים של מטריאליזם מדעי אשר שלל את קיומו של דבר־מה מחוץ לעולם הגופני והפיזיקלי, חוזרת לתמונה בתפנית מעניינת הגישה הדואליסטית, הצצה דווקא מתוך עולם הטכנולוגיה. אולם לצד הדואליזם הנוגע להפרדת התודעה מהגוף, יש כאן המשכיות של התפיסה המטריאליסטית בהתייחסות אל התודעה כאובייקט הנמצא בתחום סמכותו של המדע. המטריאליזם מתחלף בסוג של "אינפורמציזם", ברעיון כי התודעה במהותה מורכבת מתבניות של מידע. תפיסה כזו עדיין מניחה רדוקציה של התודעה למרכיב אחד הניתן לחקירה מדעית מלאה, אך בהתאם לעידן האינפורמציה שאנו חיים בו, במקום החומר המטריאליסטי הופך מרכיב זה להיות מידע. הגילום החומרי, יהיה זה דרך פולסים חשמליים, אינטראקציות כימיות או כל אמצעי אחר, הופך להיות משני. מה שחשוב הוא תבנית המידע המיוצגת דרכו. המטאפורה המרכזית בתמונת עולם זו נלקחת מעולם המחשבים – התודעה נתפסת כתוכנה, והגוף כחומרה. התוכנה היא הדבר העיקרי, התוכן, מעניקת המשמעות. החומרה היא רק אמצעי. התוכנה זקוקה לחומרה כדי לרוץ עליה, אך לחומרה אין משמעות בפני עצמה, ולכן איננו מחויבים בהכרח לסוג מסוים של חומרה. לפי ראייה זו, ההפרדה של התודעה מהגוף נדמית כעניין טכני בלבד – ברגע שיהיו בידינו הכלים לנתח את הפעילות המוחית ולזהות בה באופן מלא את תבניות המידע של התודעה, נוכל לשכפל את התוכנה־תודעה וכך להפרידה מהחומרה של הגוף. אזי נוכל גם להריץ אותה על חומרה אחרת, אמינה ועמידה יותר, וכך להבטיח את קיומנו הנצחי.

ההנחה כי ניתן לנתק את התודעה מהגוף אינה כה מובנת מאליה. הפילוסוף, מוריס מרלו־פונטי, כמו רבים אחרים, טוען כי הגוף הוא תנאי הכרחי לתודעה. בעוד הגישה הדואליסטית רואה את האדם כמוח חושב ותופס שרק במקרה נמצא שבוי בגופו, מתייחס מרלו־פונטי לאדם כמכלול של גוף־סובייקט שקיומו הגופני הוא חלק מהותי והכרחי לקיומו כסובייקט. לפי מרלו־פונטי התפיסה קודמת לתודעה, והתודעה לא יכולה

"כך נוכל ליצור עולם וירטואלי שמכיל את סך חוויותינו וזיכרונותינו, איתו יוכלו אנשים אחרים להמשיך ולהיות באינטראקציה גם לאחר שגופנו ייעלם מן העולם. החיים הפיזיים שלנו יילכו וייאבדו מחשיבותם כאשר נהיה מודעים לכך שעולם החווה שלנו ממשיך להתקיים אחרינו. כולנו נזכה למעשה לחיי נצח ציבוריים"

להתקיים בלעדיה. תפיסה אינה דבר־מה המתרחש במוח מבודד, כמו שרואה זאת הגישה הדואליסטית. התפיסה לא ניתנת לניתוק מהגוף – אנחנו חווים ותופסים דברים דרך הגוף וחושיו, במימד פיזי לחלוטין. אנו מתקיימים בראש ובראשונה כתודעה אשר פועלת בעולם, תודעה המקיימת יחסים עם הדברים הסובבים אותה. להיות בעל תודעה הוא לתפוס את מקומך בעולם, ותפיסה זו נטועה בגוף. הגוף הכרחי לקיומה של תפיסה, אשר הכרחית לקיומה של תודעה. היותנו יצורים חושבים הוא משני להיותנו **יצורים**, אנו קודם כל מתקיימים בעולם כגוף חש, ורק אחר כך כתודעה חושבת.

קווין קלי בספרו Out of Control מציג מקרה שמחדד את חשיבותו של הגוף עבור קיום התודעה. בניסוי פסיכולוגי שנערך בקנדה שהו מתנדבים במשך שלושה ימים בתא בידוד בו נוטרלו כל חושיהם – התא היה חשוך לגמרי ואטום לקול, והם שכבו על מיטה כשאבריהם עטופים ומכוסים. בתחילה דיווחו המתנדבים על הזיות ויזואליות. ביום השני חשו ניתוק מהמציאות, קשיי דיבור ופחדים. ביום השלישי רוב המתנדבים לא יכלו לחשוב על דבר, וחלקם "נתקעו" במחשבה אחת אשר חזרה על עצמה שוב ושוב עד שלא יכלו לשאת זאת יותר. הגוף, אומר קלי, הוא העוגן של התודעה. ללא הגוף והחושים, ללא עולם, יכול המוח להגיב רק אל עצמו, ואז התודעה קורסת פנימה בהתעסקות עצמית חסרת כיוון לתוך עיוורון מנטאלי. ללא גוף, שוחקת התודעה את עצמה למוות.

חוסר היכולת להפריד בין הגוף לבין החוויות שאנו עוברים מודגשת בגישות גופניות בפסיכולוגיה ובתרפיה, כמו אלה של וילהלם רייך ושל תלמידו, אלכסנדר לואן. גישות אלה יוצאות מנקודת הנחה זהה לזו של מרלו־פונטי – חוויה היא תופעה גופנית. כל מה שקורה לנו נתפס דרך גופנו ומשפיע עליו. הגוף אינו רק אמצעי חישה, הוא גם נוטל חלק משמעותי בזיכרוננו ובעיצוב תפיסת העולם שלנו. החוויות והטראומות שאנו עוברים משפיעות על גופנו ונצברות בו. חוויות הילדות שלנו טמונות בגוף, מעצבות את מתח השרירים שלו, את אופן היציבה, את זרימת הדם באברים השונים. ההגנות והמחסומים אשר נבנו בגוף במהלך ילדותנו מהווים חלק נכבד ממי שאנו הופכים להיות כאנשים בוגרים, ומשפיעים על הדרך בה אנו מתנהלים בעולם, על החלטותינו, על מערכות היחסים שלנו, על היחס שלנו לעצמנו. לא ניתן לנתק את מי שאנחנו כתודעה, את האופן בו אנו חושבים, מתבוננים ומבינים, ממי שאנחנו כגוף. התודעה שלנו היא חלק מהגוף, והגוף הוא חלק ממנה. אנחנו מכלול אחד ושלם של תודעה־גוף.

אם הגוף אכן הכרחי לקיומה של התודעה ולא ניתן להפריד ביניהם, אולי האפשרות היחידה היא זו שמתאר פרופ' תשבי – שכפול המבנה האסוציאטיבי והמחשבתי שלנו, הביטוי החיצוני של תודעתנו. אולם האם אלה חיי הנצח המבוקשים? האם שכפול וירטואלי כזה הוא אכן "אני"? הסופר מישל וולבק בספרו "אפשרות של אי" מציג גירסה קודרת של חיי נצח כאלה. עולם העתיד של וולבק מורכב מניאו־אנשים, צאצאי אנושות משופרים ומהונדסים. הניאו־אנשים אינם מתרבים – הם משתכפלים. כל אחד מהם מהווה עותק גנטי של אב קדמון, אבי השושלת. הם חיים כמעט כשכל בלבד, מבודדים בביתם, חייהם מוקדשים לחקירה ולכתיבה מחדש של זיכרונות האדם המקורי, העותק מס' 1 שלהם. זוהי אנושות שמקיימת חיי נצח על־ידי שיכפול גנטי ושימור הזיכרון באופן חי דרך הצאצאים המשוכפלים. אם אלה אכן חיי נצח, הרי הם עלובים, חסרי הווה, עתיד ותקווה. זוהי אנושות מתקדמת טכנולוגית, אך מנוונת ולא מתפתחת, אנושות שעוסקת בצורה אובססיבית בעבר ובציפייה חסרת התרגשות לביאת העתידים, מעין גודו סינגולארי שלעולם לא יגיע.

וולבק מציג בספרו תמונה מוקצנת של תפיסת העולם הדואליסטית. הניאו־אנשים הם שיאה של הרציונליות והשאיפה לחיי רוח. הגוף עבורם הוא בן־חלוף, זמני, הסחה בלבד. הם מבקשים לפרוש מהטבע, גופם משודרג כדי להרחיקם ככל שאפשר מרגשות, מתשוקות וממכאובי הבשר. חייהם הם חיים שטוחים ואדישים, במידה רבה נטולי אנושיות. מהעבר השני, בצידו של הגוף, נמצאים הפראים, שרידי האנושות שלא הפכו לניאו־אנשים. הפראים חיים בשבטים פטריארכלים נוקשים, מחוסרי תרבות ושפה, ספוגים בלכלוך וסירחון, מין חייתי, טקסים אלימים ואכזריים. הם התגלמות היצרים החייתיים ששוכנים במעמקים המודחקים של המין האנושי. אצל וולבק אין אפשרות של אושר או נחמה >>

>> באף אחד מן הצדדים. חיי הגוף הם שפלות ואכזריות, חיי הרוח הם ניוון חד־גוני והתנתקות. התמונה שמציג וולבק (על אף שהפסימיות טמונה בה באופן אינהרנטי) מספקת קריאת אזהרה בדבר האפשרות של קיום באחד מהצדדים בלבד. כדאי אולי לקחת זאת בחשבון לפני שאנו ממהרים לזנוח את הגוף.

סייברספייס זה כאן

השאיפה לקיום נצחי כתודעה בסייברספייס היא כנראה מעט מרחיקת לכת. אנו נכבשים בקסמן של המטאפורות שיוצרות הטכנולוגיות החדשות – סייברספייס, תוכנה, חומרה, ומתפתים להשליכן על עצמנו בתקווה למימושו של חלום האלמוות המלווה את התרבות לאורך השנים. אך אלה עדיין מטאפורות בלבד, והחלום הוא רק חלום. אם הסייברספייס, כמו שהסביר ברוס סטרלינג, הוא המרחב שיוצר קו הטלפון בשיחה בין אנשים, מדוע לא נוכל להתייחס כך גם למרחב ההתכתבות דרך חליפת מכתבים, או לעולם בו מתקיימים כל אותם גיבורים ספרותיים אותם הכרנו במהלך חיינו? הבנת הסייברספייס באופן זה יכולה לתת לנו פרספקטיבה טובה יותר על מקומה של הטכנולוגיה בחיינו. המטאפורה של הסייברספייס לרשת האינטרנט כמרחב חוץ־פיזי וכמקום מיסטי וקדוש נולדה כנראה מתוך המפגש עם החדש. הרי הכתיבה בתחילת דרכה נתפסה כמקודשת והיתה נחלתם של כוהני הדת בלבד. את תגובתם הנדהמת של האנשים אשר נתקלו לראשונה בהמצאת הטלפון ניתן רק לדמיין. יש לשער כי הדבר נראה בעיניהם כסוג של פלא, כדבר־מה מחוץ לעולם זה. כמו אז גם היום, הטכנולוגיה החדשה מהלכת עלינו קסם, מעוררת בנו את רגש הפליאה, את אותה תחושה של ילדותנו שהכל עוד אפשרי. אולם כמו הכתב והטלפון, עם היטמעות הטכנולוגיה בחיינו, כך הולך ודועך הקסם והחידוש שבה, והיא הופכת לחלק בלתי נפרד ומובן מאליו מהעולם שסביבנו. אין בכך כמובן להקטין את מקומה – ככל שהיא שקופה לנו יותר, נמצאת בכל מקום והופכת לטבע שני, כך גם גדלה מידת השפעתה והשינוי שהיא מביאה עימה.

למחשב ולאינטרנט יהיה ככל הנראה מקום אחר בהתפתחות המין האנושי. זהו מקום אירוטי פחות ופרוזאי הרבה יותר, אך עדיין בעל השלכות מרחיקות לכת, ואת ניצניו היומיומיים ניתן כבר לראות סביבנו. האנושות לא צועדת לעבר הסייברספייס. הכיוון הוא הפוך – הסייברספייס נע לתוך העולם.

יזם האינטרנט, נובה ספיבק, מנה לאחרונה מספר דוגמאות שמציגות את הנוכחות הגוברת והולכת של הרשת בעולם הפיזי. ביניהן ניתן למצוא טלפונים סלולריים חדשים אשר מחוברים לרשת וגורמים לה ללכת איתנו לכל מקום; יישומים דוגמת Google Maps Mobile שמזהים מיקום גיאוגרפי ומחברים בין מקומות פיזיים למקומות וירטואליים; מסגרות תמונה שמתעדכנות ומציגות תמונות מתוך אלבומי רשת; חיישנים בגינה שמחוברים לרשת ועוזרים להחליט מה לגדל; יישומים של Lifestreaming דרכם אנו מעדכנים ברשת את כל פעולותינו ומתעדכנים אודות מעשיהם של אנשים אחרים. השפעתה של הרשת ניכרת בתחומי תרבות, כמו שירה המושפעת מטוקבקים או ספרות בנוסח סיפור־במשפט־אחד שהחלה את דרכה ברשת. אנו רואים יותר ויותר זליגה אסתטית שמקורה ברשת שמתבטאת למשל בשלטי חוצות המעוצבים לפי סטנדרטים של Web 2.0, או אפילו בהחלטות הגרפיות והעיצוביות בגיליון שאתם מחזיקים בידיכם.

ספיבק, כמו גם קווין קלי ואחרים, טוענים כי כיוון ההתפתחות של רשת האינטרנט שונה ממה שציפינו וחזינו. המחשבה כי העולם הולך והופך לדיגיטלי וכי כולנו נחייה כישויות וירטואליות היתה מוטעית. מה שמתרחש בפועל הוא שהעולם הדיגיטלי חודר לתוך העולם הפיזי. לטענת ספיבק, במהלך השנים הקרובות המונח של "להתחבר לרשת" יהפוך למיושן מכיוון שכל אדם וכל דבר יהיו מחוברים כל הזמן. במובן זה צודק קורצווייל – זה אכן יהיה עולם שכולו (גם) סייברספייס, מאחר והסייברספייס יחלחל פנימה לכל פינה בעולם. הסייברספייס לא יהיה מקום אחר, מרחב חליפי אליו נמלטים מתוך העולם הפיזי. הסייברספייס נמצא בעולם. הוא יהווה (ובעצם, כבר היום מהווה) מימד נוסף המגביר ומעשיר את העולם בו אנו חיים. הרשת תימצא בכל מקום, תוך שהיא מקשרת את כולנו ואת כל הדברים סביבנו ומאפשרת נגישות תמידית לכמויות עצומות של מידע. המרחב הווירטואלי לא יחליף את העולם, אלא יתווסף אליו כרשת ענקית של קשרים – זה יהיה עולם שבו הכל קשור לכל.

העולם שאנו חיים בו הוא כבר היום עולם של מדע בדיוני. המחשב ורשת האינטרנט משפיעים על האופן בו אנו קוראים וכותבים, לומדים, אוספים מידע, יוצרים ומתבטאים, מנהלים קשרים חברתיים, מבלים. זוהי טכנולוגיה שמשנה את יכולות הזיכרון שלנו, את המערכים האסוציאטיביים, את האופן בו אנו חושבים. השפעותיה מתחילות להיראות במבנים החברתיים, התרבותיים והפוליטיים שאנו יוצרים סביבנו. אנו רק מתחילים להבין את המקום שהמחשב והאינטרנט תופסים בחיינו, ויעבור עוד זמן רב עד שנוכל לתפוס את מלוא היקפה של המהפכה שמתחוללת ברגעים אלה ממש. אולם לצד השינויים הרבים המתרחשים סביבנו ובתוכנו, אנו ממשיכים גם להיות נטועים בגוף, בתחושותיו וברגשותיו. חשוב, אם כך, כי לצד ההיקסמות מן הטכנולוגיה ומן האופקים החדשים שנפתחים בפנינו, נזכור גם להמשיך ולהביט במי שאנחנו בהווה – באופן בו אנו מתייחסים לעולם, זה לזה ולעצמנו. כי רק אם נשכיל להטמיע את הטכנולוגיה לתוך קיום מאוזן, לשלב בין הבריחה אל השכל לבין החומר שמקיים אותנו, נוכל ליצור לנו עתיד שלא יישאר בגדר דמיון בלבד. ■

rotem.hermon@gmail.com

דן שפיגלד / איור: דוד פולונסקי

"בכלכלה כמו בדרוויניזם תמונת העולם העושה רדוקציה של "הטבע והחברה" למלחמה בין אינדיבידואלים אנוכיים על מקורות במחסור, נראית למבקרים רבים אכזרית, חסרת רחמים ובשל כך פגומה מוסרית. הביטוי "דרוויניזם כלכלי" משקף לעתים ביקורת זו, בהיותו ביטוי גנאי שני רק למונח החדש "קפיטליזם חזירי"

היד הנעלמה והברירה הטבעית

התיאוריה הכלכלית נשענת באופן מסורתי על שני יסודות: קבלת החלטות רציונלית ושיווי משקל. בעשורים האחרונים פעפעו לתוכה רעיונות אבולוציוניים־דרוויניסטיים, אשר מדגישים דווקא את הדינמיות של מערכות כלכליות ואת המגבלות על הנחת הרציונליות של המשתתפים בהן. כרקע לתהליך זה, מנסים הכלכלנים לחלץ מתוך המודלים התיאורטיים שלהם ניבויים מובהקים. דן שפיגלד מתאר הפריה הדדית הנמשכת 150 שנה בין תורת דרווין למחשבה הכלכלית >>

"באוקטובר 1838, 15 חודשים לאחר שהתחלתי בחקירותי השיטתיות, קראתי למטרות בידור את ספרו של מלתוס על ה"אוכלוסיה" ומכיוון שבעקבות תצפיות ממושכות בהרגליהם של בעלי חיים ושל צמחים יכולתי להעריך היטב את המאבק לקיום המתקיים בכל מקום, הכתה בי מייד ההכרה שבנסיבות כאלה יישמרו שינויים המביאים תועלת, ואילו שינויים שאינם מביאים תועלת ייכחדו... כאן אפוא היתה בידי סוף־סוף תיאוריה שיכולתי לעבוד איתה".

(צ'ארלס דרווין, אוטוביוגרפיה)

במשפט קצר זה תיאר דרווין את רגע הגילוי, התובנה שבאמצעותה יכול היה לפתע לארגן את כמות המידע העצומה שאסף לכלל תיאוריה קוהרנטית המסוגלת להסביר את התפתחות ומוצא החיים. תובנה זו הגיעה לידיו ממחקר של תומאס מלתוס, כלכלן וכומר אנגלי, אשר ניתח את הסיבות למחסור ואת המאבק על משאבים מוגבלים המתקיים כמעט כחוק טבע בין בני האדם.

זמן קצר לפני שפורסם מאמרו של מלתוס, פרסם גדול הכלכלנים הבריטיים באותה תקופה, אדם סמית', את ספרו "עושר העמים" והציג את מושג "היד הנעלמה", זו שבאמצעותה מגיעה כלכלת השוק אל שיווי המשקל המיוחל. דרווין, שהכיר את עבודתו של סמית', ונפעם מהמסה של מלתוס, השליך מהמודלים הכלכלים אל תיאוריית הטבע שלו.

סטיבן ג'יי גולד סבור שלמרות דברי דרווין באוטוביוגרפיה אין לזקוף את "הגילוי" לזכות ספרו של מלתוס. בעקבות החוקר סילבן שוובר הוא מצביע על קריאה של אוגוסט קומט, דוגאלד סטיוארט ואדולף קטלה – פילוסוף, כלכלן, וסטטיסטיקאי בהתאמה, שכיוונו את דרווין למאבק הקיום המלתוסיאני

הזיקה בין תורת האבולוציה הדרוויניסטית לבין המחשבה הכלכלית נמשכת מאז ועד היום. תפיסת האבולוציה בטבע כתולדה של התגוששות מתמדת בין אינדיבידואלים על מקורות במחסור הולמת את רוח המחשבה הכלכלית המודרנית. כלכלנים פונים לרעיונות ביולוגיים ואבולוציוניים, ובאופן לא מפתיע חוזרים חוקרי הביולוגיה האבולוציונית מדי פעם למודלים ולשיטות מחקר בכלכלה כדי לפתח את רעיונותיהם. לשתי הדיסציפלינות מספר נקודות דמיון:

- באבולוציה ביולוגית (כמו בכלכלה), הגדרת האינדיבידואל – יחידת הפעולה הבסיסית – אינה חד־משמעית. בתחילה העריכו חוקרי האבולוציה כי האורגניזם הבודד הוא יחידת הבסיס. אחרים חשבו שהמין (species) הוא זה שעליו פועלת הברירה הטבעית. אבולוציונים בני זמננו רואים בגן (gene) את היחידה הרלוונטית. גם בכלכלה, הגדרת השחקן משתנה. במודלים שונים יכולה יחידת הבסיס להיות אדם, משפחה, פירמה או מדינה, וזאת בהתאם לצרכי הניתוח.
- בשני התחומים, בדרוויניזם כמו בכלכלה, הגורם המניע את התנהגות האינדיבידואל הוא אנוכי: שרידות האורגניזם/הגן במודל הביולוגי, לעומת מיקסום תועלת אישי במודל הכלכלי. פרטים פועלים מתוך דאגה לעצמם בלבד ודאגה אנוכית זו מכוונת את כל צעדיהם (או לפחות נראית כך לצופה מהצד, כשמדובר במודל הביולוגי).
- בשני התחומים, מתוך ערבוביה של קונפליקטים, מאבק בין אינדיבידואלים אנוכיים לבין עצמם ובינם לבין סביבתם, צומח סדר מפתיע, שמשרה מראית עין של תכנון־על: מתוך מאבק ההישרדות נוצרת על־ידי "היד הנעלמה" הפונקציונליות המרשימה של האורגניזמים במודל הביולוגי, והקצאת המקורות היעילה ביותר במודל הכלכלי.
- בשני המקרים, ובפרט במקרה של המודל הכלכלי, תמונת העולם העושה רדוקציה של "הטבע והחברה" למלחמה בין אינדיבידואלים אנוכיים על מקורות במחסור, נראית למבקרים רבים אכזרית, חסרת רחמים ובשל כך פגומה מוסרית. הביטוי "דרוויניזם כלכלי" משקף לעיתים ביקורת זו, בהיותו ביטוי גנאי שני רק למונח החדש "קפיטליזם חזירי".

נקודות ההשקה והדמיון הביאו לחיקוי שיטות מחקר ורעיונות בין חוקרים משתי הדיסציפלינות. אני רוצה להתייחס במאמר זה לאופנים מסוימים בהם דיסציפלינה מדעית אחת (הביולוגיה האבולוציונית) משפיעה ומקדמת דיסציפלינה מדעית אחרת (המחשבה הכלכלית המודרנית).

כמו בתחומי מדע אחרים, מצפים רוב הכלכלנים מהתיאוריה הכלכלית לספק ניבויים חדים. אלא שלתיאוריות כלכליות יש נטייה מעצבנת לספק ניבויים חלשים דווקא במקרים הכי מעניינים. קחו למשל את השאלה הבאה: מהם התנאים להיווצרות בהלת חוסכים, שגורמת להם לבקש למשוך את כל פיקדונותיהם הבנקאיים ולשים את הכסף מתחת למזרון? אם פרט כלשהו מאמין שחוסכים רבים מסתערים על הבנק, יש לו תמריץ ברור לעשות זאת ובמהירות. לעומת זאת, אם הוא מאמין שיתר החוסכים אינם מסתערים על הבנק, אין לו כל סיבה לרוץ בבהלה לסניף הקרוב ולמשוך את כספו.

השאלה היא, באילו תנאים יאמין הפרט באפשרות המאיימת הראשונה ובאילו תנאים יאמין באחרת? סברה מקובלת היא שהתשובה לשאלה נעוצה בגורמים של פסיכולוגיית המונים, שכנראה נמצאים מחוץ להישג ידה של תורת הכלכלה. בשני העשורים האחרונים מנסים מספר כלכלנים תיאורטיים להחזיר את השאלה הזו (ודומות לה) אל הטריטוריה שלהם. חלקם עושה זאת באמצעות שימוש במודלים "אבולוציוניים". כלכלנים אלה סבורים כי **במקרים שבהם יש לתיאוריות כלכליות מקובלות יכולת ניבוי חלשה, יתכן כי מודל "אבולוציוני" של הסיטואציה עשוי לייצר ניבויים חזקים יותר.** כדי לברר את הטענה הזאת, יש להסביר תחילה מהו "ניבוי חזק" ומהו "מודל אבולוציוני".

מהו ניבוי חזק בכלכלה?

כאשר אנו אומרים שמודל כלכלי כלשהו מספק "ניבוי חזק", למה אנו מתכוונים? פרשנות אחת היא שמדובר בניבוי של תוצאות ניסוי שניתן לערוך במעבדה, בדומה לנהוג במדעי הטבע, אלא שבמקום אלומות אור ומגנטים, יש במעבדה הכלכלית קבוצת אנשים (בדרך כלל סטודנטים שמחפשים השלמת הכנסה) שיושבים ליד מסופי מחשב ומשחקים "משחק". לפעמים נמצאת הלימה בין ניבויי המודל הכלכלי להתנהגות האנשים במעבדה. כמובן שאין מדובר בסטנדרטים של פיסיקה. רחוק מכך.

"באופן יחסי, הסיכוי למהפך משפל לגאות נמוך בהרבה מהסיכוי למהפך מגאות לשפל. ולכן המצב שיאפיין את המערכת בטווח הארוך הוא "שיווי משקל נאש" הרע. כך באמצעות מודל אבולוציוני הגענו למסקנה התיאורטית, ששיווי משקל של שפל כלכלי עלול להיות יציב בהינתן תהליך למידה חברותית, יותר משיווי המשקל העדיף של גאות כלכלית"

היומרה של מודלים כלכליים היא להיות רלוונטיים בעולם האמיתי ולא בניסויי מעבדה. כאן הדברים מורכבים יותר. על־פי אסכולה אחת, כאשר מודל כלכלי נותן ניבוי חד (למשל, אם בדוגמת החוסכים המבוהלים לעיל, הוא מסוגל להגיד אם תהיה או לא תהיה הסתערות על הבנקים), אין הכוונה בהכרח שבאמת אפשר לנבא באמצעותו את המציאות, אלא שבעולם הדמיוני שמתאר המודל, מסקנת הניתוח הכלכלי היא חדה וברורה. הפשטנות הדמיונית של המודל הכלכלי אינה הופכת אותו לבלתי־רלוונטי, משום שהיא מאפשרת לנו לברר ביתר עומק את ההיגיון של טיעונים כלכליים שכולנו עושים בהם שימוש בעולם האמיתי.

על־פי פרשנות זו, כאשר מודל כלכלי אינו נותן ניבוי חד, הדבר משול לעורך־דין המופיע בפני בית המשפט, משמיע נאום סיכום ארוך, עמוס מובאות משפטיות, אך אינו מצליח לחלץ מטיעוניו הפתלתלים מסקנה חד־משמעית. מודל כלכלי שאינו נותן ניבוי חד, מעיד שאפילו בעולם הדמיוני הפשטני שהוא בונה, לא ברור "מה יקרה בסוף".

מהו מודל אבולוציוני בכלכלה?

אחת מאבני היסוד של הניתוח הכלכלי המודרני היא מושג **שיווי המשקל**. כאשר כלכלנים אומרים שאינטראקציה כלכלית כלשהי (שוק, או מערכת יחסים בין מספר קטן של שותפים או יריבים) נמצאת בשיווי משקל, בדרך־כלל הכוונה היא שכל אחד מהמשתתפים מגיב למצב בו נתונה המערכת בדרך שמשרתת את האינטרסים שלו באופן מיטבי.

הגדרה זו מייחסת **רציונליות** רבה למשתתפים באינטראקציה. ראשית, הם צריכים להבין את האינטרסים שלהם. שנית, הם צריכים לדעת איזו דרך פעולה משרתת אותם באופן אידיאלי בכל מצב ומצב. ושלישית, הם צריכים לגבש הבנה טובה של המצב בו נתונה המערכת, כדי להחליט איזו דרך פעולה אכן אופטימלית מבחינתם.

השימוש במודלים אבולוציוניים על־מנת לנתח התנהגות כלכלית מהווה ריאקציה לגישה זו. במקום "שחקנים" רציונליים, מניח המודל אבולוציוני משתתפים בעלי הבנה מועטה של המערכת, אשר לומדים **על פני זמן** כיצד לנהוג באמצעות ניסוי עיוור או חיקוי אחרים. כתוצאה מכך משתנה תוצאת האינטראקציה לאורך זמן, והשאלה היא אם הדינמיקה של הלמידה מתכנסת בסופו של תהליך למצב שהוא עקבי (ויציב) עם שיווי המשקל.

מושג האבולוציה מהווה במודל הכלכלי אנלוגיה לתהליך למידה שעוברים המשתתפים באינטראקציה. הדרוויניזם מקשר בין שגשוג הגנוטיפ (הגן עצמו) באוכלוסיה לבין מידת ההתאמה לסביבה של הפנוטיפ שלו (המופע שבו מתממש הגן בפועל). ככל שהתכונה הקשורה לגן תורמת יותר להישרדות, נגלה אותה בכמויות גדולות באוכלוסיה. בהשאלה, במודל אבולוציוני בכלכלה, **ככל שדרך פעולה מצטיירת כמתאימה יותר לסביבה ברגע נתון, תגדל תפוצתה באוכלוסיה משום ששחקנים רבים יחקו אותה.**

לומדים נהיגה

גם את תרבות הנהיגה בישראל ניתן לבחון במושגים אבולוציוניים. לאורך עשרות שנים השתתפו נהגים בחברה הישראלית בתהליך "למידה חברתית", שכולל כמה אלמנטים המזכירים את המושגים הדרוויניסטיים של ברירה טבעית ומוטציות. דפוסי הנהיגה בישראל נקבעים לכן בתהליך ממושך ומשתנים בהתאם לתהליך זה.

נהג חדש שעולה על הכביש מתבונן באופן בו נוהגים הנהגים הוותיקים ממנו. הוא מחקה את מה שנראה לו כדפוס ההתנהגות המתאים ביותר לסביבה. ככל שדפוס נהיגה מסוים מביא את הנהג ליעדו מהר ובבטחה, כך הוא ימשיך וישגשג משום שיותר נהגים יחקו אותו. הדינמיקה הזו עשויה להיות מורכבת ולעבור עליות ומורדות. נהיגה אגרסיבית יכולה לשגשג בסביבה בה רוב הנהגים אדיבים, בעוד שכאשר מאמצים רוב הנהגים תרבות נהיגה אגרסיבית, יכולה גישה אדיבה להיות מתאימה יותר משום שמפגש בין שני נהגים אגרסיבים מגדיל את הסיכוי להתנגשות. לפנינו אבן יסוד אחת במודל דרוויניסטי (ברירה טבעית) כפי >>

"מודל אבולוציוני בכלכלה הוא מודל שמדגיש בעיקר כיצד התנהגות של משתתפים באינטראקציה כלשהי מתפתחת ומשתנה בתהליך של למידה חברתית, תוך כדי ייחוס רציונליות מינימלית למשתתפים. זאת בניגוד למודלים כלכליים סטנדרטיים שמתעלמים בדרך כלל מתהליכי למידה, מניחים שהמערכת מצויה "בשיווי משקל", ומייחסים רציונליות רבה למשתתפים"

>> שהיא באה לביטוי בהתנהגות חברתית: יש קשר בין מידת השגשוג של דפוס התנהגות לבין מידת התאמתו לסביבה. אם תרצו, מדובר בהליך ברירה טבעית של דפוסי התנהגות.

אבן היסוד השנייה היא הרעיון של מוטציות אקראיות שמתרחשות מפעם לפעם. בהקשר של למידה חברתית, מתפרשת מוטציה בדרך כלל כניסוי עיוור או כטעות. למשל, כאשר נהג חדש מנסה לחקות את דרך הנהיגה של נהג ותיק, יש סיכוי שהוא יתבלבל או יבין לא נכון את דפוס ההתנהגות או ינהג באופן שונה במקצת.

לסיכום, מודל אבולוציוני בכלכלה הוא מודל שמדגיש בעיקר כיצד התנהגות של משתתפים באינטראקציה כלשהי מתפתחת ומשתנה בתהליך של למידה חברתית, תוך כדי ייחוס **רציונליות מינימלית** למשתתפים. זאת בניגוד למודלים כלכליים סטנדרטיים, שמתעלמים בדרך כלל מתהליכי למידה, מניחים שהמערכת מצויה "בשיווי משקל", ומייחסים רציונליות רבה למשתתפים.

תורת המשחקים: אתר השידוכים בין ביולוגים לכלכלנים

עד שנות ה־80 של המאה ה־20, נודעה השפעה מועטה בלבד למושגים אבולוציוניים על המחשבה הכלכלית. באופן חריג התחוללה בשנות ה־50 של המאה שעברה סערה במקצוע הכלכלה. הוויכוח נסוב אודות ההנחה המקובלת במודלים כלכליים, **לפיה פירמות פועלות אך ורק למען מיקסום רווחיהן**. על סמך ראיונות עם מנהלים שאחראים להחלטות תמחור, נראה היה כאילו אופן התנהגותם אינו עקבי עם מיקסום רווחי הפירמה. כמו בתחומי מדע רבים, בשעה שמתגלות "הפרעות" ואי־התאמות בין התיאוריה למציאות, מתחילה התקפה מבית על התיאוריה.

המודל הכלכלי המקובל שהניח כי חברות פועלות אך ורק למען מיקסום רווחים הותקף על־ידי כלכלנים אחדים. בהתאם יצאו כלכלנים אחרים, חשובים לא פחות, להגן על הנחת מיקסום הרווחים. אחת מאסטרטגיות ההגנה המעניינות התבססה על טיעון אבולוציוני.

במאמר רב השפעה משנת 1950, העלה הכלכלן ארמן אלקיאן את הרעיון האבולוציוני, שבסביבה של שוק תחרותי, פירמות אשר נוקטות צעדים שאינם עקביים עם מיקסום רווח, אינן מתאימות עצמן לתנאי השוק כמו פירמות אשר פועלות כאילו הן ממקסמות רווחים (למשל, הסיכוי שפירמות שאינן ממקסמות רווחים ייקלעו להפסדים שיחייבו את סגירתן, גדול יותר). לפיכך, בטווח הארוך יהוו פירמות כאלו מיעוט זניח ביחס לפירמות שפועלות בהתאם לעיקרון מיקסום הרווחים. אלקיאן לא טען שהפירמות שנוהגות באופן ממקסם רווחים עושות זאת בהכרח מתוך הכרה מלאה. אדרבא, הן עשויות לנהוג כך ללא תכנון מראש ומבלי להיות מודעות לכך (כמו המנהלים בראיונות) ולפעמים רק תודות למזל עיוור. אולם מרגע שנהגו כך, יגרמו הלחצים התחרותיים, שמשולים ללחצי הברירה הטבעית בעולם החי, שפירמות אלה ישגשגו.

השימוש במושגים אבולוציוניים לצורך הצדקת הנחות התנהגותיות היה חריג ראשון בנוף המחקר הכלכלי באמצע המאה ה־20. הפרק המשמעותי הבא בתולדות הזיקה בין ביולוגיה לכלכלה חל בשנות ה־70, והיה לו קשר הדוק להתפתחות **תורת המשחקים**.

תורת המשחקים היא שם שניתן לחקר מתמטי של התנהגות אסטרטגית במצבי קונפליקט. התנהגות הינה אסטרטגית אם היא לוקחת בחשבון את מהלכיהם של צדדים אחרים לקונפליקט ואת שיקוליהם. במחצית השנייה של המאה ה־20 פותחה תורת המשחקים במידה רבה על־ידי כלכלנים ועבור כלכלנים.

יום ההולדת הרשמי של תורת המשחקים חל ב־1944. באותה שנה פרסמו המתמטיקאי הדגול, ג'ון פון נוימן והכלכלן אוסקר מורגנשטרן, את ספרם עב הכרס "תורת המשחקים והתנהגות כלכלית". התחום הומצא מלכתחילה במטרה לנתח התנהגות כלכלית במצבי קונפליקט

בשנות ה־70 החלו ביולוגים תיאורטיים להתאים כמה מהמושגים הבסיסיים בתורת המשחקים לחקר האבולוציה של התנהגות חיות. התובנה הבסיסית מאחורי מהלך זה היא שעל־מנת שנבין כיצד התפתחו דפוסי התנהגות כגון זנבו הארוך של הטווס, הטריטוריאליות של הגורילה או טכניקת ההאבקה של הדבורים, יש לקחת בחשבון את העובדה שהן התפתחו בהקשר של אינטראקציה אסטרטגית בין אורגניזמים. כאשר אנחנו אומרים שהאופן בו דבורים מאביקות פרחים מהווה התאמה לסביבה, מדובר בסביבה שבראש ובראשונה מאוכלסת על־ידי אורגניזמים אחרים – פרחים וחרקים אחרים. כאשר אנחנו אומרים שהאופן בו טווס זכר מתהדר בנוצותיו מהווה התאמה לסביבה, הכוונה היא שזהו מענה לטקטיקות החיזור של טווסים זכרים אחרים ולאופן בו טווסות נקבות נענות להן – ואלה מתפתחים במקביל, בהתאם לכוחות אבולוציוניים דומים.

תלות הדדית זאת בין ההצלחה האבולוציונית של דפוסי התנהגות של אורגניזמים שונים מתאימה לניתוח באמצעות הכלים של תורת המשחקים. הסינתזה החדשה הזאת בין תורת דרווין לבין תורת המשחקים הביאה לפריחה של הביולוגיה האבולוציונית בשנות ה־70 וה־80. עד מהרה הגיעו גלי ההדף של התפתחויות אלה לתודעתם של כלכלנים. באותו זמן הגיעה תורת המשחקים למעמד של מתודולוגיה שלטת בתחומים רבים של תיאוריה כלכלית, כך שהכלכלנים היו בעמדה נוחה מאוד לקלוט את הווריאציות שנתנו ביולוגים למושגים שהם עצמם אימצו ושיכללו. מה שלדעתי גרם לכלכלנים להשתמש בגישה אבולוציונית למצבי קונפליקט בתורת המשחקים היתה התחושה שגישה זו עשויה לספק ניבויים חדים יותר מהמודלים הסטטיים המקובלים.

צילום: Visual Photos

מתי כדאי להתאמץ ומתי להתבטל?

הדוגמה הפשוטה הבאה תכניס אותנו לעולם הקסום של תורת המשחקים. שני יזמים, יוסי ועינב, מעורבים בפרויקט כלכלי חדש. לכל יזם שתי דרכי פעולה: להתאמץ או להתבטל. היזמים בוחרים את דרכי פעולתם באופן בלתי תלוי. אם שני היזמים מתאמצים, הפרויקט מצליח ומניב רווח נקי (לאחר שהפחתנו את עלות המאמץ המשותף) בסך שני שקלים, שמחולק באופן שווה בין שניהם (ימין למעלה). אם שני היזמים מתבטלים, לא קורה דבר והרווח הנקי של כל אחד מהם הוא אפס (שמאל למטה). אם אחד מהם בלבד מתאמץ בעוד השני מתבטל, הפרויקט מותנע אך נכשל, והיזם שהתאמץ יוצא בהפסד נקי של שני שקלים, בעוד היזם שהתבטל יוצא ללא פגע.

הטבלה להלן מתארת באופן קומפקטי את האינטראקציה ותוצאותיה האפשריות, לרבות מצבם הכספי של יוסי ועינב.

יוסי / עינב	להתאמץ	להתבטל
להתאמץ	1,1	0,–2
להתבטל	–2,0	0,0

הטבלה מייצגת את מה שנקרא "משחק": תיאור של דרכי הפעולה הזמינות לכל "שחקן", ותיאור התשלום שמקבל כל שחקן תחת כל תוצאה אפשרית.

מהי תוצאה סבירה במשחק הזה? המושג המרכזי שכלכלנים משתמשים בו כדי לנחש תוצאות של מצבי קונפליקט המתוארים כמשחק נקרא "**שיווי משקל נאש**", על שם ג'ון נאש, מחלוצי תורת המשחקים (כן, ההוא מהסרט). תוצאה היא "שיווי משקל נאש" אם אין לאף שחקן תמריץ לסטות מדרך הפעולה שלו בהינתן דרך הפעולה של היריב.

במשחק היזמות שלנו, יש שני מצבים של ש"מ נאש: **מאמץ משותף או** >>

<< **בטלה משותפת**. מדוע? כי אם יזם אחד מתאמץ, כדאי ליזם השני להתאמץ, מכיוון שהדבר יבטיח לו רווח נקי של שקל אחד, לעומת אפס שקלים אם יתבטל. בדומה, אם יזם אחד מתבטל, כדאי גם לשני להתבטל, מכיוון שהדבר יניב לו רווח אפס, לעומת הפסד נקי של 2 שני שקלים אם ישקיע מאמץ.

כאשר אין ליוסי מושג מה עושה היריב והוא סבור שיש סיכוי של 50 אחוזים שעינב מתאמצת, הפעולה האופטימלית עבורו היא להתבטל, במובן הבא: בטלה מניבה רווח אפס בוודאות, בעוד מאמץ מניב הפסד נקי של 50 אגורות בממוצע. לצורך המשך הדיון, נאמר שבטלה היא הפעולה הנגזרת **"מקריטריון הסיכון"**.

מדוע בכלל אפשר לצפות ששחקנים ישחקו שיווי משקל נאש במשחק? אחת הפרשנויות הרווחות היא ששיווי משקל נאש מהווה מצב יציב, שמגיע בסופו של תהליך **למידה חברתית**, בו שחקנים רכשו ניסיון מול יריבים אחרים קודם שניגשו לשחק זה מול זה. בניסויים בהם מנסים לבחון את התקפות האמפירית של ש"מ נאש, חוקרים אכן נותנים למשתתפים בניסוי לתרגל את המשחק במשך מספר סיבובים, כדי לספק מסגרת למעין למידה חברתית שכזאת. עם זאת, עד שנות ה־80 נעשו ניסיונות מעטים (וכמעט אך ורק בהקשר של קבוצה מצומצמת של משחקים, הקרויים "משחקי סכום אפס") כדי לבדוק באיזו מידה אכן עולה פרשנות זו בקנה אחד עם מודלים של למידה חברתית.

כאמור, במשחק היזמות בין יוסי לעינב יש שני ש"מ נאש. לכן, אפילו אם נסכים שש"מ נאש הוא בסיס טוב לניחוש תוצאה במשחק, יש לו יכולת ניבוי חלשה. יתירה מזאת, שני מצבי שיווי המשקל שונים מאוד מבחינת משמעותם הכלכלית. כאשר המשקיעים מתאמצים – אנחנו מצויים במצב "טוב", בו השחקנים מפיקים את התשלום המקסימלי האפשרי עבורם. מאידך, כאשר היזמים מתבטלים, התוצאה נחותה בעליל.

כלכלנים מפרשים לעיתים את שיווי המשקל "הרע" כמטאפורה לשפל כלכלי במובן של קיינס: קיים פוטנציאל לפעילות כלכלית מועילה, אולם כל פרט ממאן לתת את חלקו בפעילות זו משום שהוא סבור שהאחרים אינם עושים כן, ובמקרה זה מדובר בציפיות שמגשימות את עצמן ויוצרות מה שלעיתים נקרא "כשל קואורדינציה". בהיעדר גורם חיצוני כלשהו (הממשלה?) שיתאם את ציפיות היזמים, **השפל הקיינסיאני הוא מצב רע, אך יציב**.

בעיית ריבוי ש"מ נאש העסיקה רבים מאנשי תורת המשחקים. בשנות ה־90 החלו כלכלנים לתהות אם שיקולים אבולוציוניים עשויים לספק קריטריונים לסלקציה בין שני מצבי שיווי משקל ולהכתיר שיווי משקל מסוים כסביר יותר מאחרים כתוצאה ארוכת טווח של תהליך למידה חברתית.

האם למידה חברתית (אבולוציה) מובילה לשיווי משקל "טוב"?

בשנת 1993 הגיע צוות של שלושה כלכלנים, מיצ'יהירו קנדורי, ג'ורג' מיילאת' ורפאל רוב, ובאופן בלתי תלוי הכלכלן פייטון יאנג, למסקנה התיאורטית הבאה: במשחקים דוגמת משחק היזמות, דווקא שיווי המשקל הרע עלול להיבחר כתוצאה מדינמיקה כמו־אבולוציונית של למידה חברתית.

> **"מהם התנאים להיווצרות בהלת חוסכים, שגורמות להם לבקש למשוך את כל פיקדונותיהם הבנקאיים ולשים את הכסף מותחת למזרון? אם פרט כלשהו מאמין שחוסכים רבים מסתערים על הבנק, יש לו תמריץ ברור לעשות זאת ובמהירות. לעומת זאת, אם הוא מאמין שיתר החוסכים אינם מסתערים על הבנק, אין לו כל סיבה לרוץ בבהלה לסניף הקרוב ולמשוך את כספו"**

האינטואיציה מאחורי מסקנה זו היא כדלקמן: תהליך למידה חברתית נפתח בתנאי התחלה מסוימים. בכל תקופה נחלקת אוכלוסיה של יזמים לזוגות אקראיים כמו יוסי ועינב, שמשחקים את המשחק. נניח לשם המחשה שבתחילת תהליך הלמידה פועלים היזמים באופן אקראי, כך שבערך מחציתם מתאמצים ומחציתם מתבטלים. מה יקרה בהמשך התהליך? ובכן, חלק מהיזמים יתחילו ללמוד מניסיון העבר (הקצר). ישנן כל מיני דרכים ללמוד מניסיון. דרך אחת היא לחקות באופן עיוור את מי שהשיג תוצאה טובה. דרך אחרת היא לאסוף נתונים סטטיסטיים על התנהגות היזמים באוכלוסיה בעבר הקרוב, לנחש שהסטטיסטיקה הזאת תקפה גם בעתיד הקרוב, ולהגיב באופן אופטימלי. נניח שיש גרעין כלשהו של יזמים שלומדים מניסיון באופן הזה. מכיוון שמחצית אוכלוסיית היזמים מתאמצת והמחצית השנייה מתבטלת, הרי שהתגובה האופטימלית עבור יזם שלומד בצורה זו היא להתבטל, מכיוון שלהערכתו בזיווג אקראי הוא ייתקל ביזם מתאמץ בסיכוי של 50 אחוזים, וכפי שראינו, סיכוי זה נמוך מלהצדיק מאמץ. למעשה, בהינתן טבלת התשלומים הנ"ל, דרוש סיכוי של שני־שלישים לפחות שהיריב אכן מתאמץ.

מה קורה בשלב הבא? מכיוון שיש גרעין של שחקנים שמגיבים בצורה זו לניסיון העבר, הרי שבתקופות הבאות יגדל חלקם של המשקיעים הבטלנים. ככל שכך יקרה, יותר ויותר משקיעים ילמדו מניסיון העבר שהבטלה משתלמת, עד שלאחר פרק זמן כלשהו, כמעט כל האוכלוסייה תנהג כך ואז ינציח המצב את עצמו בדיוק מאותן סיבות ששיווי משקל

נאש הוא מצב יציב. מכאן, שבטווח הארוך תתכנס המערכת לש"מ נאש הרע, שפירשנו כמטאפורה לשפל כלכלי.

כמובן, לו היו תנאי ההתחלה טובים יותר ורוב היזמים באוכלוסיה היו מתאמצים, אזי מאותם שיקולים היתה המערכת מתכנסת בטווח הארוך לש"מ נאש הטוב. לכאורה, נראה כאילו חזרנו לנקודת ההתחלה: הבחירה בין שני סוגי שיווי המשקל תלויה בתנאי ההתחלה. כאן נכנס לתמונה האלמנט השני במודל האבולוציוני: המוטציות האקראיות, שבהקשר של למידה חברתית אנחנו מפרשים כניסויים עיוורים או כטעויות ששחקנים מבצעים מפעם לפעם.

נניח שהמערכת נמצאת במצב בו רוב גדול של היזמים בוחר להשקיע מאמץ. אם במקרה יחולו מספר מוטציות בו־זמנית, שישנו את התנהגותם של כמה יזמים (למשל, כתוצאה משינוי מצב־רוח כללי פתאומי, בעקבות מפלה צבאית או כשלון נוסף באירוויזיון), יירד שיעור ה"מתאמצים" באוכלוסיה מתחת לשני־שלישים ושוב תהיה ידה של הבטלה על העליונה. כמובן, צירוף מקרים זה של הרבה מוטציות בו־זמנית הוא נדיר. אולם בטווח הארוך הוא יקרה.

אותו טיעון של מוטציות בו־זמנית מוביל גם בכיוון ההפוך – ממצב בו רוב היזמים מתבטלים למצב בו יותר משני־שלישים מתאמצים. אולם, כדי לחצות את המחסום (שני־שלישים מתאמצים) "מלמטה", דרושות הרבה יותר מוטציות מאשר כאשר מגיעים "מלמעלה". בטווח הארוך־מאוד, תשהה המערכת רוב הזמן במצב בו כמעט כל היזמים מתבטלים. כאשר תהיה המערכת במצב קיצוני, טוב או רע, הסיכוי למהפך יהיה נמוך, אולם בסופו של דבר הוא יקרה. באופן יחסי, הסיכוי למהפך משפל לגאות נמוך בהרבה מהסיכוי למהפך מגאות לשפל. ולכן, המצב שיאפיין את המערכת בטווח הארוך־מאוד הוא "שיווי משקל נאש" הרע. כך, באמצעות מודל אבולוציוני, הגענו למסקנה התיאורטית ששיווי משקל של שפל כלכלי עלול להיות יציב בתנאי תהליך למידה חברתית, יותר משיווי המשקל העדיף של גאות כלכלית.

עלי לחזור על האזהרה שלי: המשל על יוסי ועינב מופשט כל־כך, שכל מי שגוזר מסיפור המעשה מסקנה מעשית לנוכח המשבר הכלכלי הנוכחי, עושה זאת על אחריותו בלבד. שימו לב שבמסקנה התיאורטית בדבר סבירותו של שיווי־שמקל "הרע", נדרשנו להתייחס להתפתחויות בטווח הארוך־מאד, בעוד שמאורעות כמו משבר פיננסי (לרבות דילמת ההסתערות על הבנקים שתיארנו בתחילת המאמר) מתרחשים בטווחי זמן קצרים.

נראה לי – וזהו עיקר האמונה בקרב כלכלנים תיאורטיים – שגם בהיעדר יכולת להסיק מסקנות מעשיות ממודל מופשט יש בו ערך, במובן שהוא מספק זווית הצצה חדשה לסוגיה הסבוכה כל־כך של גאות ושפל כלכליים. הלקח הכללי שאולי ניתן להפיק מהסיפור העצוב על יוסי ועינב הוא שלא ניתן לסמוך על למידה ספונטנית של יזמים (סוג של "ברירה טבעית" או "יד נעלמה"), שתביא אותנו למצב "טוב" בו כולם בוחרים ברמה גבוהה של פעילות יזמית, משום שהכוחות של **תהליך הלמידה** יכולים לגרום דווקא לשגשוגה של פעילות יזמית ברמה נמוכה.

בין דרוויניזם לכלכליזם

הדוגמה של משחק היזמות ממחישה כיצד שני המאפיינים המרכזיים של תורת דרווין – הברירה הטבעית והמוטציות האקראיות – יכולים לשמש על דרך האנלוגיה כבסיס לטיעון כלכלי תיאורטי, שלכאורה אין בינו לבין הביולוגיה דבר וחצי דבר.

כלכלנים לא מעטים סבורים שבשל ההתמקדות (האופנתית) בבעיית הסלקציה של ש"מ נאש, נדחקו לשוליים בעיות אחרות מעניינות, אשר מודל אבולוציוני יכול להפרות. למשל, ניזכר בשאלה שהעסיקה את ארמן אלקיאן: האם להנחות התנהגותיות שמניחים כלכלנים יש "הצדקה" אבולוציונית? ובפרט, האם מוטיבציות אנושיות בסיסיות, כגון שנאת סיכון, רדיפה אחר סטטוס, או נהייה אחרי סיפוקים מיידיים, הן תולדה של כוחות אבולוציוניים הפועלים ומשפיעים (בין אם מדובר באבולוציה ביולוגית על פני מיליוני שנים, או באבולוציה תרבותית על פני עשרות שנים)? האם גילויים שונים של חוסר רציונליות בהתנהגות כלכלית (כגון העדפות תלויות הקשר או חשיבה הסתברותית לקויה) ניתנים להסבר אבולוציוני?

יותר מכל, ממחיש הסיפור שלנו כמה בין־תחומיות מהווה אוויר לנשימה עבור מחקר מדעי, וכיצד רעיונות מתגלגלים מדיסציפלינה אחת לאחרת, פושטים ולובשים צורה. רעיונות מתחום אחד חודרים לתחום שונה לחלוטין, מפרים אותו, לובשים צורה חדשה ומתגלגלים חזרה לדיסציפלינת האם. ■

r.spiegler@ucl.ac.uk

רוצים לדעת יותר?

כמה ספרים נוספים בנושא:

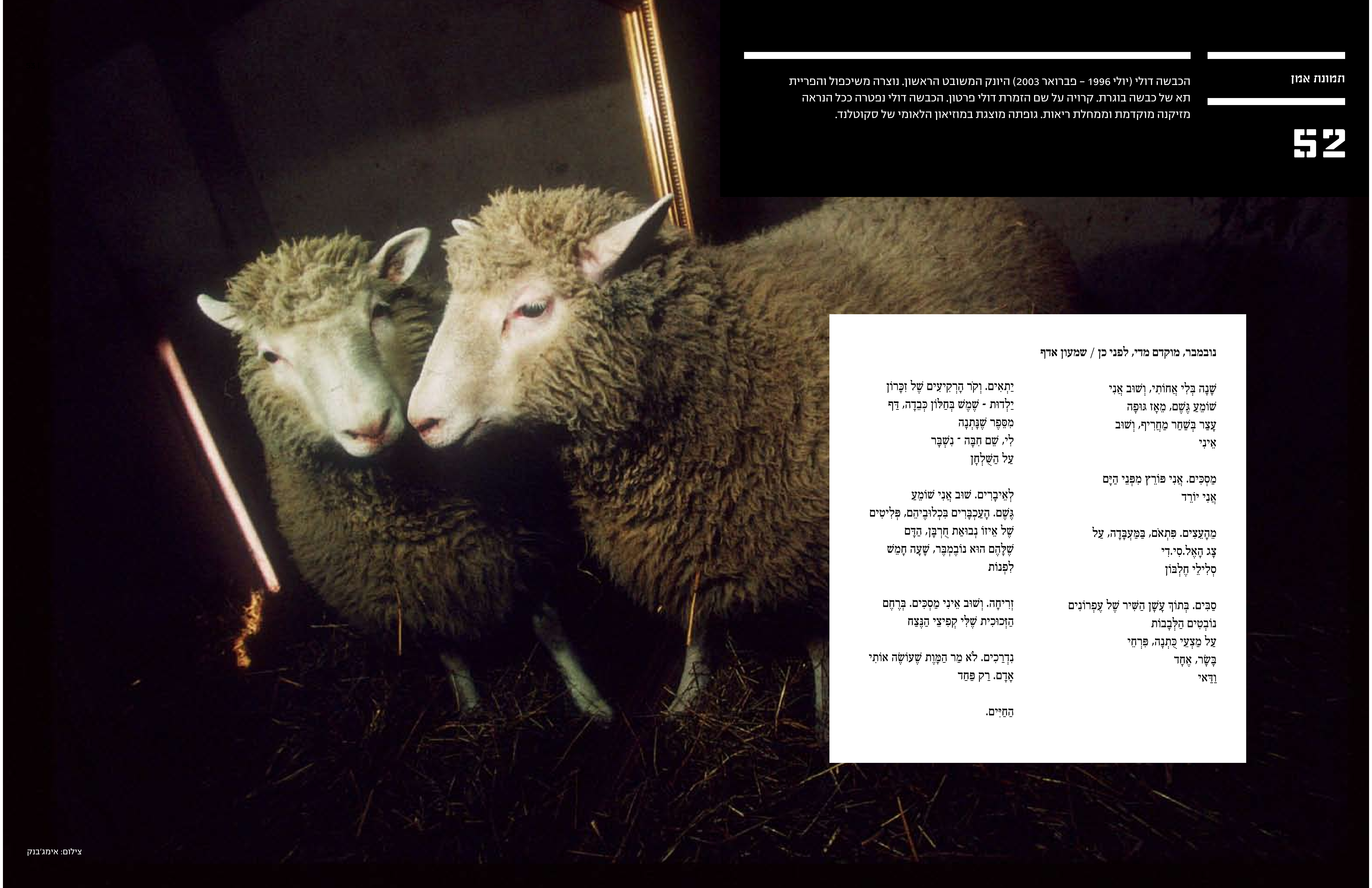
John Maynard Smith, "Evolution and the Theory of Games", 1982. הצגה טכנית של הסינתזה המודרנית בין אבולוציה דרוויניסטית לתורת המשחקים, שג'ון מיינארד סמית' היה ממחולליה הראשיים. (הספר זמין ב:books.google.com)

Larry Samuelson, "Evolutionary Games and Equilibrium Selection", 1998. סקירה טכנית של האופן בו תיאורטיקנים כלכליים אימצו רעיונות אבולוציוניים כדי להתמודד עם "בעיית" הניבויים החלשים של מודלים כלכליים

תמונות אמון

52

הכבשה דולי (יולי 1996 – פברואר 2003) היונק המשובט הראשון. נוצרה משיכפול והפריית תא של כבשה בוגרת. קרויה על שם הזמרת דולי פרטון. הכבשה דולי נפטרה ככל הנראה מזיקנה מוקדמת וממחלת ריאות. גופתה מוצגת במוזיאון הלאומי של סקוטלנד.



נובמבר, מוקדם מדי, לפני כן / שמעון אדף

שָׁנָה בְּלִי אֲחוֹתִי, וְשׁוּב אֲנִי
שׁוֹמֵעַ גֶּשֶׁם, מֵאָז גּוּפָהּ
עָצַר בְּשַׁחַר מַחֲרִיף, וְשׁוּב
אֵינִי

מַסְכִּים. אֲנִי פּוֹרֵץ מִפְּנֵי הַיָּם
אֲנִי יוֹרֵד

מֵהָעֵצִים. פִּתְאֹם, בַּמַּעְבָּדָה, עַל
צָג הָאֶל.סִי.דִי
סְלִילֵי חֶלְבּוֹן

סַבִּים. בְּתוֹךְ עָשָׁן הַשִּׁיר שֶׁל עֶפְרוֹנִים
נוֹבְטִים הַלְּבָבוֹת
עַל מַצְעֵי כֻּתְנָה, פִּרְחֵי
בָּשָׂר, אֶחָד
וַדַּאי

יַתְאִים. וְקֹר הָרְקִיעִים שֶׁל זִכָּרוֹן
יַלְדוּת - שֶׁמֶשׁ בְּחַלּוֹן כְּבֵדָה, דַּף
מִסֵּפֶר שֶׁנָּתְנָה
לִי, שֵׁם חִבָּה - נִשְׁבָּר
עַל הַשֻּׁלְחָן

לְאֵיבָרִים. שׁוּב אֲנִי שׁוֹמֵעַ
גֶּשֶׁם. הָעַכְבָּרִים בִּכְלוּבֵיהֶם, פְּלִיטִים
שֶׁל אֵיזוֹ נְבוּאַת חֻרְבָּן, הַדָּם
שֶׁלָּהֶם הוּא נוֹבֶמְבֶּר, שָׁעָה חָמֵשׁ
לִפְנוֹת

זְרִיחָה. וְשׁוּב אֵינִי מַסְכִּים. בְּרֶחֶם
הַזְּכוּכִית שֶׁלִּי קְפִיצֵי הַנֶּצַח

נִדְרָכִים. לֹא מַר הַמָּוֶת שֶׁעוֹשֶׂה אוֹתִי
אָדָם. רַק פַּחַד

הַחַיִּים.

צילום: אימג'בנק

גיא דויטשר

״כאשר ההומו סאפיינס החל בנדידה הגדולה שלו ממזרח אפריקה אל שאר העולם, היתה לו שפה בדרגת תחכום, שנקרא לה לצורך העניין בכינוי הלא־מדעי ״אני טרזן״. ככל הידוע לנו (כאמור, מעט מאוד), בהחלט ייתכן שכל הלשונות המדוברות כיום מקורן בשפה קמאית אחת, שדוברה לפני כ־100,000 עד 200,000 שנים אי־שם במזרח אפריקה״

אני טרזן

השפה, היצירה החשובה ביותר של האדם, התפתחה במהלך מאות־אלפי השנים האחרונות. בזכותה הפך ההומו סאפיינס מעוד מתחרה על שטחי מחיה בטבע ליצור אינטליגנטי, המשפיע, משנה ומכונן את העולם שמסביבו. מה קרה מאז החל קוף האדם לנהום ועד למבנים הסמנטיים המורכבים של ימינו? האם עקרונות האבולוציה של דרווין פעלו גם על השפה? גיא דויטשר חושב שלא ומחזיר את למארק לתמונה

■ השפה מתפתחת בתהליך אבולוציוני. במבט ראשון נדמה שהאבולוציה של השפה דומה לאבולוציה של בעלי החיים. שתיהן אף מציגות אתגר דומה לחוקרים: בטבע אורגניזמים חיים הם כה מורכבים, ועיצובם נדמה כה גאוני, שלעתים קשה להאמין שהם אינם מעשה ידיו של חָרש אמן. האתגר של חוקרי אבולוציה ביולוגיים הוא לשכנע, בעקבות דרווין, איך אורגניזמים משוכללים כאלה התפתחו כתוצאה ממנגנונים עיוורים של שינוי.

האתגר של חוקרי השפה דומה. למרות שלא מדובר ביצור חי, השפה היא מערכת משוכללת להפליא, המשתמשת בחומרי גלם צנועים ביותר – שלושים וכמה רסיסי צלילים כגון בּ, ט, ד, פּ, פ, ק, ג, ש, אַ, אֵ. זרמי האוויר חסרי המובן האלה מעניקים לנו את היכולת להביע מחשבות מורכבות לאין שיעור. כמה מן הארכיטקטורות המתוחכמות ביותר של השפה, כגון מערכת הפעלים השֵמית, או יכולתן של לשונות מסוימות לבטא משפט שלם במילה אחת, מרשימות בעיצובן המשוכלל והמתוחכם לא פחות מעיצובם של היצורים החיים המורכבים ביותר. ובכל זאת, בדומה לאורגניזמים ביולוגיים, גם השפה לא הומצאה מתוך כוונה מודעת, ומבניה המורכבים לא תוכננו על־ידי ארכיטקט. היא התפתחה במרוצת השנים, ובלשנים מנסים להבין אילו מנגנונים עיוורים של שינוי פעלו והרכיבו יצירה כל־כך מתוחכמת.

<<

>> לשחזר את העבר ללא תיעוד מאובנים

המאובנים – דברי הימים של אורגניזמים החקוקים בסלע – היו מקור השראה חשוב בהולדת רעיון האבולוציה. השאלה אם אפשר היה לשחזר את העבר בלעדיהם, נראית היפותטית. אילו עמדו לרשותנו רק האורגניזמים החיים בימינו, אילו מעולם לא נתקלנו בשרידי מאובנים, האם היה לנו הדמיון הנחוץ כדי לשחזר את ההיסטוריה של החיים על כדור הארץ? האם היה דרווין מסוגל להגיע לתיאוריית האבולוציה שלו?

כשמדובר בחקר השפה, שאלת המאובנים אינה היפותטית. למעשה, כשאנו מנסים לפענח את האבולוציה של השפה, אנו מבינים שעלינו לשחזר את העבר ללא עזרת "מאובנים" או כל רמז היסטורי אחר. השפה לא השאירה עקבות בשטח. היא אינה משאירה אחריה עצמות ושלדים. אם לא נמציא מכונת זמן משוכללת שתסיע אותנו עשרות־אלפי שנים לאחור, או שלא נגלה במפתיע מצלמת וידיאו שחייזרים שכחו כאן בביקורם האחרון בכדור הארץ, לעולם לא נחזיק בידינו משהו דומה להיסטוריה של החיים החקוקה באבן.

האם באמת ניתן לטעון שהשפה לא השאירה אחריה "מאובנים"? ומה עם הלוחות העתיקים של כתב היתדות, כתבי החרטומים המצרים או כתובות קדומות אחרות במערות במרחבי העולם? האין התחריטים ההיסטוריים האלה נותנים לנו עדויות לשלבים מוקדמים ופרימיטיביים יותר של השפה? לרוע המזל, התשובה היא לא. כאשר אנו עוסקים בפרקי הזמן הרלוונטיים לאבולוציה של השפה, הכתובות העתיקות הללו אינן עתיקות כל עיקר.

נכון, איש אינו יודע מתי בדיוק נוצרה השפה, ואיש אינו יודע עד כמה (אם בכלל) היתה מפותחת שפתו של האדם הניאנדרטלי או שפתם של קופי־אדם אחרים. לצערנו, אף אחת מן ההשערות האומדות את גילה של השפה, אינה מבוססת על עדויות מן השפה עצמה: אנו מחזיקים רק באומדנים מעורפלים המשקפים את הערכותיהם של מדענים ביחס למידת האינטליגנציה של אבותינו הקדמונים בתקופות שונות (למשל, על סמך הכלים ששימשו אותם), וביחס לַסבירות שקופי־אדם בדרגות אבולוציה שונות היו מסוגלים לפתח את רמת האינטליגנציה המשוערת שלהם ללא שימוש בשפה. עם זאת, איש בימינו אינו מפקפק בעובדה שכאשר ההומו סאפיינס החל בנדידה הגדולה שלו ממזרח אפריקה אל שאר העולם, היתה לו שפה בדרגת תחכום, שנקרא לה לצורך העניין, בכינוי הלא־מדעי "אני טרזן". אם כך, ככל הידוע לנו (כאמור, מעט מאוד) בהחלט ייתכן שכל הלשונות המדוברות כיום מקורן בשפה קמאית אחת, שדוברה לפני כ־100,000 עד 200,000 שנים איי־שם במזרח אפריקה.

הממצאים ההיסטוריים העתיקים ביותר שעומדים לרשותנו הם בני כ־5,000 שנה, פרק זמן מזערי בתולדות השפה, ולכן אינם מסוגלים לשפוך אור על היווצרות אבני הבסיס של השפה. מחקרים בכתבים אלו מראים שהשפות המתועדות בכתבים הקדומים ביותר שבידינו, דומות במורכבות ובדרגת התחכום שלהן לכל שפה מודרנית שאנו מכירים.

מאמץ עקר באותה מידה הוא לנסות לחפש רמזים לשלבים הקדומים של השפה בלשונותיהם של ילידים באוסטרליה, הבושמנים האפריקנים ושאר שבטים "פרימיטיביים". מתברר כי שפותיהם של אותם שבטים, החיים מבחינה מעשית בתקופת האבן, ניחנות במבנים תחביריים מסועפים ביותר. כמובן שאין בשפות האלה מילים שישמשו לשיחות על פילוסופיה או אבולוציה – אך העדרן של מילים אלו מעיד רק על אוצר מילים מוגבל. במקרים רבים כללי הדקדוק של שפות כאלה מסובכים בהרבה מהמבנים הדקדוקיים של שפות מהתרבויות המתקדמות ביותר.

רגע אחרי המילה הראשונה

האם העדרם של "מאובנים" לא מאפשר הבנה של התפתחות השפה משלבים מוקדמים ופרימיטיביים? האם בשל מחסור בראיות היסטוריות מוחשיות ניאלץ לוותר על שאיפתנו להבין את התפתחות התחכום הלשוני? אני מאמין שלא. אך בהעדר "מאובנים" עלינו למצוא מפתח שונה להבנת האבולוציה של השפה.

לצורך זה נגדיר תחילה במדויק מה אנו מחפשים וכמה רחוק לאחור ברצוננו להגיע. אם מטרתנו היא לשחזר את הרגע הראשון שבו השפה באה לעולם – להבין בדיוק מה התרחש כאשר אבותינו הקדמונים החלו לנהום את נהמותיהם הראשונות – כי אז מצבנו אינו מזהיר. חלק ראשוני זה של הסיפור באמת שרוי באפלה. כל העדויות שיש ברשותנו לא יכולות לשפוך אור על רגע היווצרות השפה. ההמחשה הטובה ביותר לבורותנו היא טווח התיאוריות הסותרות שחוקרים העלו, כדי להסביר את היווצרות השפה הראשונית: צעקות וקריאות; מחוות ידיים ושפת סימנים; אופני חיזור; שירה, ריקודים וקצב; לעיסה, מציצה וליקוק – וכמעט כל פעילות נוספת תחת השמש. התרחישים האלה הם לרוב מרתקים, לעתים קרובות מבדרים ולפעמים אפילו סבירים – ובכל זאת הם לא יותר מפנטזיות.

אך מצבנו משתפר פלאים כאשר אנו מציבים לעצמנו מטרה צנועה יותר ומנסים לשחזר לא את האופן שבו נולדו המילים הראשונות, אלא את מה שקרה אחר־כך: איך צורה פרימיטיבית מאוד של שפה צמחה והתפתחה לדרגת המורכבות האדירה של השפות שאנו מכירים. נניח שאנו מסכימים לקחת כנקודת המוצא שלנו את שלב ה"אני טרזן" שהזכרתי קודם: שלב שבו כבר קיימות כמה מילים לדברים פשוטים – עצמים מוחשיים ופעולות בסיסיות – אך לא הרבה מעבר לכך. מכאן אני מאמין שניתן לשחזר את צמיחתה של השפה לרמת תחכומן המלא של הלשונות המודרניות.

מה הסיבה לאופטימיות הזאת? איך נוכל לשחזר את הסיפור ללא עדויות ממשיות על שלבים בהתפתחות שפה? למרבה האירוניה, הסיבה העיקרית לכך שאנו יכולים לעשות זאת, לפחות באורח חלקי, נעוצה בכך שהתפתחות השפה **שונה בתכלית השינוי** מן האבולוציה של בעלי החיים ואיננה מצייתת לעקרונות דרוויניסטיים! רצה המקרה, והיבט מרכזי באבולוציה של השפה משחק לנו המזל יותר מאשר לחוקרים מתחום

האבולוציה הביולוגית. טענתי היא **שהשינויים המתרחשים בשפה והדרך בה שפה מתפתחת הם פחות אקראיים והרבה יותר צפויים מ"מוטציות אקראיות" ומדרכי התפתחות של בעלי חיים באמצעות הברירה הטבעית.**

דרווין או למארק?

סיפור התפתחותה של תיאוריית האבולוציה ידוע לכל. ב־1802 קם צרפתי חכם בשם ז'אן בטיסט למארק, שטען כי מינים אינם קופאים על שמריהם, אלא מתפתחים בהדרגה אחד מהשני. הוא הציע תיאוריה מקיפה של אבולוציה, אלא שזו סבלה מבעיה בסיסית אחת: המנגנון שלמארק הציע כהסבר לתמורות במינים של בעלי החיים היה, להבנתנו היום, מופרך מיסודו. על־פי התיאוריה הלמארקית, צאצאים יורשים מהוריהם את המאפיינים והתכונות שהוריהם רכשו במהלך חייהם. בעלי חיים משפרים את ביצועיהם של אברים מסוימים בכך שהם מאמצים אותם בכיוון מסוים, והשיפורים העוקבים האלה מונחלים מדור לדור. הדוגמא המפורסמת ביותר של למארק היתה צווארה הארוך של הג'ירפה. לדידו, אבותיה הקדמונים של הג'ירפה התחילו למתוח ללא הרף את צווארם בניסיון להגיע אל ענפים גבוהים יותר, וכך הצליחו להאריך אותו קלות במשך חייהם. את הצוואר הארוך במקצת הזה ירשו בני הדור הבא, וכך הצוואר הלך והתארך מדור לדור.

חצי מאה מאוחר יותר, ב־1859, קם אנגלי חכם עוד יותר וגילה את המנגנונים **האמיתיים** המניעים אבולוציה: השילוב של מוטציות אקראיות וברירה טבעית. דרווין טען שצווארה הארוך של הג'ירפה לא התקבל בכך שהיא מתחה אותו ללא לאות והנחילה את התוצאה לצאצאיה. ההסבר שדרווין הציע היה, שלצאצאים שנולדו במקרה עם צוואר ארוך יותר היו סיכויים טובים יותר לשרוד, ובחלוף הדורות נבחרו המוטציות האקראיות האלה בתהליכים של ברירה טבעית.

עד סוף המאה ה־19, ואפילו בתחילת המאה ה־20, מדענים רבים ראו בעקרונותיו של למארק חלופה תקפה לדרוויניזם. הסינתזה הביולוגית המודרנית דחתה סופית את הרעיון הלמארקי והציגה אותו כמושא ללעג. אבולוציה, כפי שאנו יודעים כיום, פועלת על־פי העקרונות שדרווין חשף והסביר.

<<

>> כיוון שהדרוויניזם נחל ניצחון כה מוחץ, וכיוון שדרווין הציג מודל כה משכנע וחובק־כל עבור האבולוציה של בעלי החיים, ניסו דיסציפלינות רבות להשליך מהאבולוציה הביולוגית אל תחומי המחקר שלהם. מפתה להניח, אם כן, שגם השפה התפתחה במהלכים דרוויניסטיים. אחרי הכל, מדוע לא לתת למודל שגרף הצלחה כה מסחררת בתחומים כה רבים, להסביר גם את האבולוציה של השפה?

זה כמה עשורים מנסים בלשנים למצוא קווים מקבילים בין אבולוציה דרוויניסטית ואבולוציה לשונית. הם מנסים נואשות למצוא בשפה את המקבילה לגֶנים, למוטציות אקראיות, לברירה טבעית, למאבקי הישרדות. משום מה, זה אף פעם לא מצליח. לא משנה עד כמה הם מתאמצים לכופף את מנגנוני השינוי הלשוני כדי להתאימם למודל הדרוויניסטי, הם תמיד נתקלים במוקדם או במאוחר במכשול, וההקבלה קורסת.

ההסבר שלי לכישלון הוא בעובדה הפשוטה, שאבולוציה של שפה (ואבולוציה תרבותית בכלל) אינה פועלת לפי עקרונות דרוויניסטיים, אלא מצייתת דווקא לכללים למארקיים. למעשה, נדמה שהאבולוציה של שפה היא דוגמא כמעט מושלמת לאבולוציה למארקית. הדבר מתברר כאשר משווים בין עקרונות היסוד של אבולוציה ביולוגית דרוויניסטית לבין האופן שבו השפה משתנה ומתפתחת.

באבולוציה ביולוגית הצאצאים אינם יורשים מאפיינים נרכשים: שינויים החלים במשך חייו של הפרט אינם מונחלים לדור הבא. השינויים הרלוונטיים היחידים, אם כך, מתחוללים בתהליך השעתוק מדור לדור. המנגנון המכריע המתווה כיוון מסוים לאבולוציה הוא ברירה ("ברירה טבעית" ו"ברירה מינית"). ללא מנגנון הברירה, לא היה מה שיתווה את דרכה של אבולוציה, שכן המוטציות עצמן הן אקראיות, חסרות כיוון.

בואו נראה באיזה אופן השפה מתפתחת:

הצאצאים יורשים **אך ורק** מאפיינים נרכשים. דור חדש לומד לדבר בשפה שהוריו דיברו בבגרותם, ולא בזו שההורים "נולדו" איתה. ישראל היא דוגמא מושלמת לעובדה הזאת: מיליוני ילדים של עולים חדשים מעיראק, מפולין ומעשרות מדינות נוספות לא למדו את השפה שהוריהם דיברו בילדותם, אלא את השפה החדשה, שהמהגרים האלה החלו לדבר בבגרותם: עברית. למעשה, המצב אפילו קיצוני יותר, כיוון שהילדים כלל אינם מבססים את שפתם על הוריהם, אלא על בני גילם. אפילו אם המהגרים שלנו המשיכו לדבר יידיש או ערבית בבית, ילדיהם עברו עד מהרה לשפה של בני גילם. יש אפוא מעט מאוד זיכרון גנטי אינדיווידואלי בשפה המונחלת מדור לדור.

ההתפתחות הלשונית מתנהלת על־פי עקרונות למארקיים גם משום שרוב השינויים החשובים בשפה מתחוללים במשך ימי חייו של הפרט, ולא בתהליך השעתוק מדור לדור. כיום אנו יודעים שחידושים לשוניים שמכים שורש ומביאים בסופו של דבר לשינויים, מגיעים ברובם מבני נוער ולא מטעויות של ילדים צעירים (שחסרים את הכוח החברתי והיוקרה הנחוצים כדי שהמצאותיהם יקנו אחיזה).

אין בשפה מקבילה לברירה הטבעית ולמאבקי הישרדות. כאשר אנשים מאמצים צורה חדשה בשפה (מילה חדשה, מבנה חדש, הגייה חדשה), זה אולי הופך אותם אופנתיים יותר, אך זה לא משפיע באופן משמעותי על סיכוייהם לשרוד, או אפילו על סיכוייהם להעמיד צאצאים.

לבסוף, ההיבט החשוב ביותר שבו האבולוציה של השפה היא למארקית ולא דרוויניסטית הוא, שחלק גדול מהחידושים הלשוניים אינם אקראיים אלא **מוּנחי מטרה**. למעשה, "למתוח את הצוואר כדי להגיע לענפים גבוהים יותר" היא מטאפורה טובה למדי למוטיבציה העומדת מאחורי חידושים לשוניים רבים, כפי שנראה מיד. מה שמקנה כיוון לאבולוציה של השפה אינו תהליך של ברירה טבעית, אלא העובדה שגורמי השינוי והחידוש הם לרוב מוּנחי מטרה.

כשאני טוען שהחידושים בשפה הם מוּנחי מטרה, אינני מבקש לומר שאנשים מנסים לשנות את השפה מתוך כוונה מודעת להתוות את השפה כולה בכיוון מסוים. יש תופעות רבות שבני אדם מחוללים מתוך מניעים מקומיים וללא כוונה גלובלית. איש, למשל, אינו יוצא מביתו בכוונה ליצור פקק תנועה, ועם זאת, כל נהג שנכנס למכוניתו בבוקר תורם בדרכו לפקק. בדומה לכך, חידושים לשוניים בדרך־כלל אינם נובעים מתוך יומרה לפתח את השפה או להתוות לה כיוון מסוים. הם נובעים מסיבות מיידיות יותר, ויעדיהם מקומיים בהרבה. אף־על־פי־כן, השפעתן המצטברת של פעולות כאלה יכולה לחולל שינויים בעלי כיוונים מוגדרים, וחשוב מזה – ניתנים לניבוי.

חיסכון, דחף ההבעה ואנלוגיה

כשאני אומר "שינויי שפה מונחי מטרה" למה אני מתכוון? יש שלושה גורמים בסיסיים העומדים מאחורי החידושים המתרחשים בשפה: **חיסכון, דחף ההבעה ואנלוגיה.**

הגורם הראשון, **חיסכון**, מתייחס לנטייתנו לקמֵץ במאמץ ואחראי לקיצורי הדרך שדוברי השפה עושים לעתים קרובות בהגייה. בפרט בדיבור מהיר, אנחנו מנסים להתאמץ כמה שפחות ומשקיעים רק את המינימום הדרוש על מנת שיבינו אותנו. השפעתם המצטברת של קיצורי הדרך האלה היא שחיקה מתמדת של צלילים, שתוצאתה היא היחלשותם, ועם הזמן אף מחיקתם הגמורה. רבים מנתיבי השינוי שהשחיקה יוצרת חוזרים על עצמם, בשפות שונות, כמעט באותה צורה. בעשרות שפות, למשל, הצליל *p* נשחק ל־*f*, ולעתים אחר־כך גם ל־*h*.

עברית, כמובן, עשתה את הצעד הראשון בנתיב הזה. המלך דויד אמר יִפְתַּח, ב־פּ דגושה, אך כמה מאות שנים אחר־כך ה־פּ נחלשה והפכה ל־פ. השפה הגרמאנית הקדומה, שממנה התפתחה האנגלית, פסעה בנתיב דומה והפכה את ה־*p* במילים כגון *pisk** ל־fish :*f*. שפות אחרות הרחיקו לכת עוד יותר. לדוגמא, בעוד שסמוראים מהמאה התשיעית שכבודם חוּלל היו מבצעים פָּרא–קירי (פּרא "בטן", קירוּ "חותך"), כמה דורות מאוחר יותר היו צאצאיהם זוכרים את מעשה אבותיהם כפָרא–קירי; ומהמאה ה־17 התחילו דורות חדשים של לוחמים שהושפלו לבצע הָרא–קירי. לתהליכים האלה, המונעים על־ידי נטייתנו לחיסכון במאמץ, יש, אם כך, כיוון ברור: מַעתק הצלילים מ־*p* ל־*f* חל בעשרות שפות ברחבי העולם. מַעתק בכיוון ההפוך, לעומת זאת, מ־*f* ל־*p*, כמעט שאינו בנמצא.

הגורם השני, **דחף ההבעה**, מתייחס לניסיונותיהם של דוברי השפה להקנות השפעה רבה יותר לדבריהם ולהרחיב את טווח משמעותם. גורם זה מזכיר מאוד את מתיחת הצוואר של הג'ירפה. אחד המקומות שבהם אנו יצירתיים במיוחד הוא בהבעת שלילה; נדמה שהמילה הפשוטה "לא" נראית לנו לעתים קרובות חלשה מכדי להביע את מלוא עוצמת התנגדותנו. כדי לוודא שאנו משיגים את האפקט הרצוי, אנו מעצימים את המילה "לא" ומבהירים את כוונתנו באמצעות "בכלל לא", "בחיים לא", "בשום פנים ואופן לא", "אין סיכוי", וכך הלאה. ההפרזה הזאת מתבררת לעתים קרובות כגול עצמי, כי החזרה על ביטויים מדגישים מחוללת אינפלציה המורידה בהדרגה מכוחם. כך, למשל, מילת השלילה האנגלית *not* באה לעולם לפני כאלף שנים כ־*wiht–a–ne*, שפירושו המילולי הוא "לא־לעולם־כלום", כלומר: "שום־דבר לעולם" או "בשום פנים ואופן לא". אך דוברים החלו להשתמש במבנה הזה של "שום־דבר לעולם" לעתים קרובות יותר ויותר, והוא נשחק בהדרגה, גם בצורתו וגם במשמעותו. צורתו התקצרה ל־*nawiht*, אחר־כך ל־*nawt*, ולבסוף פשוט ל־*not* חסר יומרות.

במקרים אחרים "מתיחתן" של משמעויות יכולה להניב תועלת רבה – למשל, כשדחף ההבעה מניע זרם בלתי־פוסק של חידושים הלוקחים מושגים פשוטים למדי כדי להביע משמעויות מופשטות ומורכבות יותר.

"מתברר כי שפותיהם של אותם שבטים, החיים מבחינה מעשית בתקופת האבן, ניחנות במבנים תחבירים מסועפים ביותר. כמובן שאין בשפות האלה מילים שישמשו לשיחות על פילוסופיה או אבולוציה, אך במקרים רבים כללי הדקדוק של שפות כאלה מסובכים בהרבה מהמבנים הדקדוקיים של שפות מהתרבויות המתקדמות ביותר"

כך, למשל, יש נהר של מטאפורות, הסוחף מילים שבמקורן תיארו יחסים במרחב והופכן למילים המתארות יחסים בזמן: "לפני" (המלחמה), "מחוץ" (לשעות העבודה), "בתוך" (שבועיים), וכך הלאה. שוב, לנתיב יש כיוון ברור, והשינוי במשמעות מתחולל כמעט תמיד מהמרחב לזמן ולא להפך.

הגורם השלישי לשינוי בשפה, **האנלוגיה,** מתייחס לתשוקתו של המוח לסֵדר, לדחף האינסטינקטיבי של דוברים למצוא חוקיות בשפה. השפעותיה של האנלוגיה ניכרות יותר מכל בטעויות הלשון של ילדים, כגון "שתָתי" במקום "שתיתי" (באנלוגיה לפעלים כמו "אכלתי"), "נתנתי" במקום "נתתי", או "אישות" ו"נמלות" במקום "נשים" ו"נמלים". כל ה"טעוּיות" האלה הן, למעשה, ניסיונות הגיוניים לחלוטין לעשות סדר בפינותיה המבולגנות של השפה. רבות מהשגיאות הללו אמנם מיתָקנות כשהילדים מתבגרים, אך חידושים אחדים בכל זאת קונים להם אחיזה. בעבר, למשל, היו יותר שמות עצם בעלי סופית הרבים הזכרית "יוצאת הדופן" **ים,** למרות היותם נקביים. לדוגמא, בעברית מקראית ומשנאית היתה צורת הרבים של רפת – רפתים, אך מאוחר יותר ה"שגיאה" רפתות הכתה שורש, באנלוגיה לצורת הרבים הנקבית הרגילה. אנחנו ממשיכים לבצע אנלוגיות במהלך חיינו, והצטברותם של חידושים כאלו יכולה לעתים להקים מבנים דקדוקיים מפוארים.

יש כיוון לאבולוציה

החד־סיטריוּת של נתיבי השינוי העיקריים של השפה מעניקה לאבולוציה של השפה את כיוונה, וכיווניות זאת היא היא המאפשרת לנו לשחזר איך התפתחה מורכבותה של השפה מלכתחילה. לשם כך אנו זקוקים להנחה מוקדמת חשובה אחת, שנקראת העיקרון האוּניפוֹרמיטארי [*uniformitarian*]. עלינו להניח שההווה הוא המפתח לעבר: שהכוחות >>

"ההסבר שלי לכישלון הוא בעובדה הפשוטה, שאבולוציה של שפה (ואבולוציה תרבותית בכלל) אינה פועלת לפי עקרונות דרוויניסטיים, אלא מצייתת דווקא לכללים למארקיים. למעשה, נדמה שהאבולוציה של שפה היא דוגמא כמעט מושלמת לאבולוציה למארקית"

<< והמנגנונים המחוללים שינוי בשפות בנות ימינו, הם באופן עקרוני אותם כוחות ומנגנונים שחוללו שינוי בשפות בעבר הרחוק. אנו יכולים לאמץ את העיקרון האוניפורמיטארי הזה במידה רבה של ביטחון, מכיוון שכאשר התחילו אבותינו הקדמונים לתקשר זה עם זה במילים, הם בוודאי הונעו על־ידי אותם שלושה גורמים בסיסיים לשינוי המניעים אותנו – **חיסכון, דחף ההבעה ואנלוגיה.**

המשך הטיעון שלי הוא פשוט: אם אנו מסוגלים להבין איך התפתחו מבנים דקדוקיים בשפות בנות זמננו (הכוונה כאן היא לכל התקופה המתועדת: 5,000 השנים האחרונות), נוכל להבין איך צמחו המאפיינים המורכבים הראשונים מתוך שלב "אני טרזן" הפרימיטיבי. בשפות מודרניות, כמובן, היווצרותם של מבנים דקדוקיים היא לרוב תוצאה של חידוש. איננו רואים איך מבנים דקדוקיים מגיחים לראשונה לעולם, אלא איך מבנה חדש קם ומחליף מבנה שהתיישן. אך אין ספק שאותם המנגנונים המחדשים מבנים בימינו, היו אחראיים להולדתם של המבנים הדקדוקיים הראשונים בשחר השפה.

בספר **"גלגולי לשון"** הצגתי תרחיש מפורט, המראה איך שלושת גורמי השינוי יוצרים מבנים חדשים בשפה, וניסיתי לשחזר איך מכלול המאפיינים המתוחכמים של השפות המודרניות צמח בהדרגה. אפילו בלי להיכנס לפרטים, נוכל לראות איך המגמה החד־כיוונית של השינויים בשפה מאפשרת לנו לשחזר את העבר. אם אנו מבינים את התהליכים שיצרו מאפיינים דקדוקיים מסובכים בשפות של ימינו, כי אז ניסוי מחשבתי יכול להפוך את כיוונו של החץ ולהקיש מהמאפיינים הדקדוקיים הנוכחיים איך נראו שלבים קדומים ופרימיטיביים יותר באבולוציה של השפה.

ההיגיון פשוט: אם, נניח, אנו רואים כי למאפיין מסוים Y יש רק דרך אחת להתפתח: הוא תמיד צומח מן המבנה הפשוט יותר X, אנו יכולים להסיק מכך, שהיה שלב בהתפתחות השפה שהיה בו רק X, ו־Y עוד לא התפתח. אפשר להחיל את העיקרון הזה על צלילים, מבנים ומשמעויות. למשל, אם *f* תמיד מתפתח מ־*p*, נוכל להסיק כי היה שלב באבולוציה של השפה שבו הצליל *f* עדיין לא היה קיים. אם משמעויות מופשטות תמיד מתפתחות (באמצעות מנגנון המטאפורה) ממשמעויות מוחשיות יותר, כי אז הניסוי המחשבתי שלנו יכול להשיל בהדרגה מן השפה שכבות שונות של משמעויות מופשטות. ואם אנו רואים בשפות מודרניות שמילות יחס, למשל, מתפתחות תמיד משמות עצם או פעלים, כי אז אנו יכולים לשחזר שלב באבולוציה של השפה לפני הולדתן של מילות יחס.

אם נחיל את ההיגיון הזה בעקביות ונמשיך להפשיט את השפה ממאפייניה הדקדוקיים, נגיע לבסוף לשלב בהתפתחות שבו היו רק מילים לעצמים פשוטים ולפעולות פשוטות, וכמה עקרונות טבעיים ו"שקופים" לסידורן. כלומר, אנו מגיעים לדבר־מה הדומה לשלב "אני טרזן" שהזכרנו בתחילה.

אם כך, בדיוק מכיוון ששינויים רבים בשפה אינם "מוטציות אקראיות", אלא מציגים כיוון ברור, אנו יכולים להפוך את כיוונו של החץ ולשחזר, על סמך השינויים המתחוללים בשפות מודרניות, כיצד עשויה היתה השפה שאנו מכירים היום להתפתח. אנו יכולים לעשות זאת רק בשל העובדה שאבולוציה זו אינה דרוויניסטית, אלא למארקית בעיקרה: היא מעבירה תכונות נרכשות, החידושים בה אינם אקראיים, וכיוונם מתווה את כיוון התפתחותה. נכון, שיטת השחזור שהתוויתי אינה מביאה אותנו ממש עד לרגע הולדתה של השפה ואינה מגלה לנו דבר על הנהמות הראשונות ביותר, אך בהתחשב בעדויות ההיסטוריות הזעומות העומדות לרשותנו, היא מקדמת אותנו כברת דרך משמעותית. ■

g.deutscher@let.leidenuniv.nl

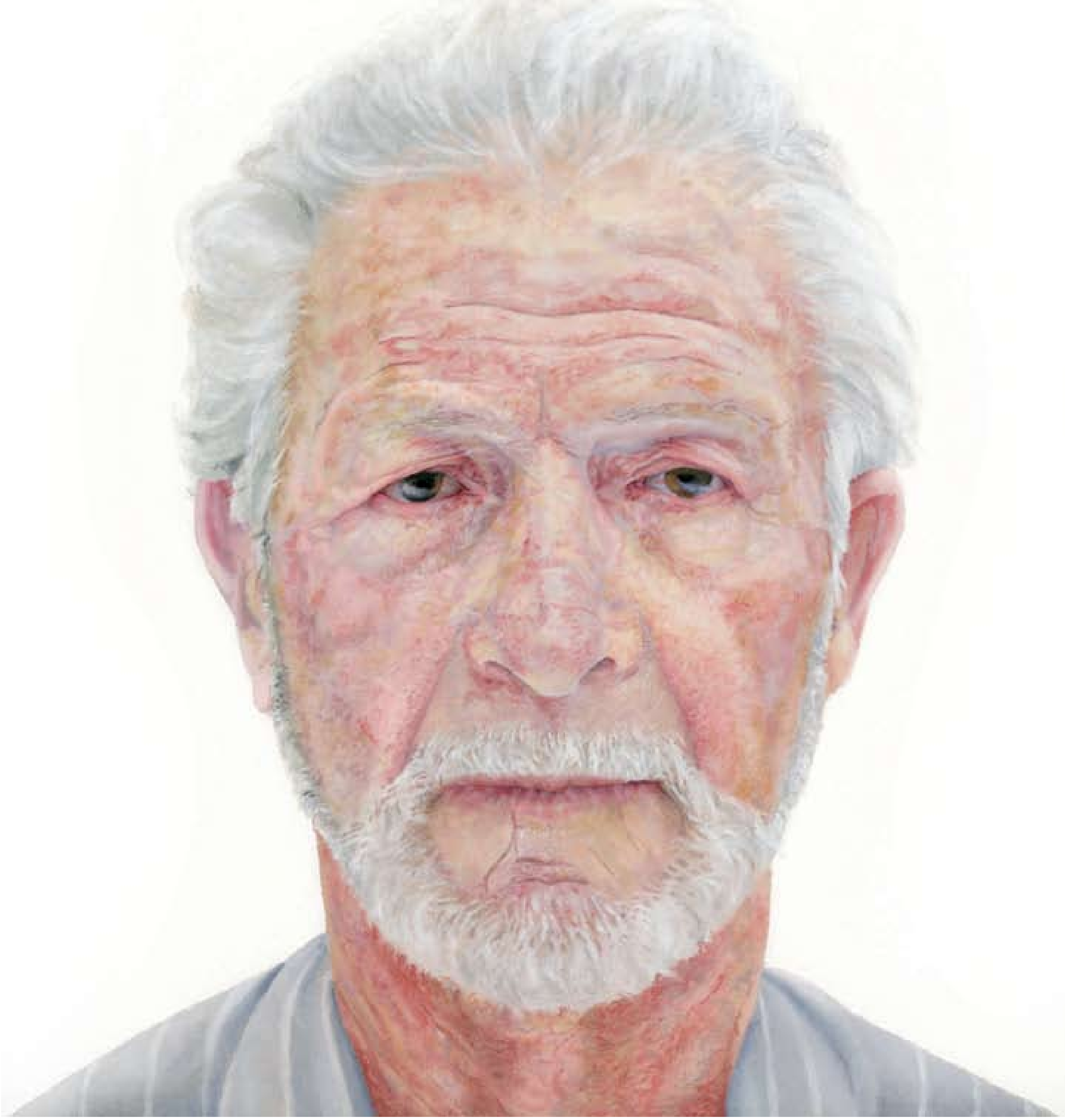
רוצים לדעת יותר?

כמה ספרים נוספים בנושא:

Robbins Burling, *The Talking Ape: How Language Evolved*, **Oxford University Press, 2005.**
סיכום עדכני וקריא של התיאוריות העיקריות המנסות להסביר איך נוצרו המילים הראשונות.

Terence Deacon: *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Human Brain*. **W. W. Norton, 1997.**
תרחיש מקיף מנקודת מבט קוגניטיבית לאבולוציה מקבילה של השפה והמוח

גיא דויטשר – גלגולי לשון: מסע בעקבות המצאתו הגדולה ביותר של האדם. חרגול/עם עובד, 2007.
ניסיון להסביר איך מהמילים הראשונות של האדם הקדמון יכלה להיווצר המורכבות המלאה של השפות המודרניות



ליאור שמיר / ציורים: ראובן קופרמן

"אתגר משמעותי הוא הנושא החברתי, הנובע מתופעה הולכת וגדלה של אנשים המגיעים לגיל אשר נהוג לחשוב עליו כעל גיל פרישה, אך נמצאים עדיין במלוא כוחם ואינם ששים לפרוש מפעילות. לכן, בכדי לנצל את משאביה באופן היעיל ביותר, יהיה על החברה המודרנית להתרגל למצב בו חלק גדול מהאנשים הפעילים בה הם אנשים מבוגרים"

האם יתכנו חיי נצח?

כדי להבין אם ניתן לטפל בהזדקנות, צריך להבין תחילה את מהותו המדויקת של התהליך. האם במנגנון פנימי, הפועל כמו שעון ישן שזקוק למתיחה, זמנו קצוב וסופו ידוע, או שמדובר בבלאי טבעי של מערכת, שבסופו של דבר לא ניתן למנוע את קריסתה

■ המתכון לחיי נצח לא נמצא בינתיים. הטכנולוגיה של המאה ה־21 מביאה אותנו לגלקסיות רחוקות ואל החלקיקים הזעירים ביותר. שרשראות גנטיות מפוענחות ומחלות סופניות נעלמות מן העולם, או לפחות נמצאות תחת שליטה. כאשר מדובר במחלות סופניות, נהוג לחשוב על סרטן, איידס ומחלות לב ומוח שונות, אולם למעשה קיימת מחלה סופנית נפוצה יותר מכל אלה גם יחד. מחלה זו סופה במוות ודאי, ומכיוון שכל אדם יחלה בה, היא גם גורם המוות הנפוץ ביותר. מחלה זו היא כמובן ההזדקנות.

לא כולם מסכימים, שיש להסתכל על ההזדקנות כמחלה. חוקרים אחדים, כגון סינתיה קניון מאוניברסיטת קליפורניה בסן־פרנסיסקו, אינם מגדירים את ההזדקנות כמחלה בטענה שמחלה צריכה להיות מצב קליני שרק חלק מהאוכלוסיה סובל ממנו, ואילו ההזדקנות היא תהליך אשר חווה כל אורגניזם בטבע. מנגד, קבוצת מדענים אחרת מצביעה על הקשר בין ההזדקנות לבין תהליכים קליניים אחרים המוגדרים כמחלות. ג'ורג' מריים מאוניברסיטת וושינגטון מציין שיש הבדלים משמעותיים בקצב ההזדקנות בין אנשים שונים, ומצביע על שינויים אנטומיים ופונקציונליים התואמים מצבים קליניים אשר מוגדרים כמחלות. למרות הקושי המסוים שיש בקביעת תהליך ההזדקנות כמחלה, אין ויכוח על כך שההזדקנות היא תהליך קליני בעל סימפטומים רבים, המתבטא בהיחלשות כללית של מערכות הגוף עד למותו של האורגניזם.

אחת השאלות הראשונות שעולות בהקשר לתהליך ההזדקנות היא אם וכיצד ניתן לעצור אותו, להחזירו לאחור, או לתת מענה לתופעות הנלוות לשלב זה של החיים. כדי לענות על השאלות כבדות המשקל הללו,

>>

יש להבין תחילה את מהותה של ההזדקנות. למרות המחקר האינטנסיבי שמתבצע בשנים האחרונות ועל אף המשאבים ההולכים וגדלים המופנים לתחום זה, עדיין אין הסכמה בין המדענים באשר לפשר ההזדקנות.

על־פי אחת הגישות המובילות, תהליך ההזדקנות הוא אוסף של תהליכים משניים של בלאי ושחיקה טבעיים של הגוף, אשר יחדיו גורמים להאטה כללית של מערכות הגוף השונות. גישה זו נתמכת, בין השאר, באבחנה שסביבת המחייה של האדם היא גורם קריטי בקביעת אורך חייו. מנגד, יש הסוברים שמדובר בתהליך מכוון הנשלט על־ידי מנגנונים ביולוגיים ייעודיים. ראיה לכך עשויה להיות העובדה שלבעלי חיים שונים יש אורך חיים שונה, וזאת ללא קשר חד־משמעי לתכונות כגון סביבת המחייה או משקל הגוף. אולם למרות נימוקים כבדי משקל לשני הצדדים, הידע המועט הקיים כיום רחוק בשלב זה מלספק מסקנה, והוויכוח בין הגישות השונות הוא ויכוח פילוסופי שעשוי להשליך על כיווני המחקר.

מנגנון פנימי הפועל כמו שעון ישן הזקוק למתיחה, שזמנו קצוב וסופו ידוע, או בלאי טבעי של מערכת שבסופו של דבר קורסת? ההכרעה בשאלה זו קשורה באופן ישיר לניתוח הגורמים לתהליך להזדקנות. אלה יכולים להיות גורמים סביבתיים שונים, כגון קרינת השמש, רעלנים שונים ושחיקה טבעית של מערכות הגוף. מנגד, גישה אחרת גורסת שמקור התהליך חבוי בקוד הגנטי הנמצא בכל תא. אמנם ידוע שאורח החיים כגון תזונה, מיקום מגורים והרגלים מסוימים משפיעים באופן משמעותי על תוחלת החיים ועל התיפקוד בגיל מבוגר, אולם אין בכך בכדי לקבוע האם גורמים אלו משפיעים על ההזדקנות באופן ישיר, או אולי פשוט מורגשים באופן קיצוני יותר עם הזדקנותו של האורגניזם וההיחלשות הכללית של הגוף. כלומר, לא ברור, למשל, אם מגורים במקום בעל רמת זיהום אוויר גבוהה מאיצים את תהליך ההזדקנות, או שאולי אין להם כל קשר להזדקנות עצמה, פרט לכך שהשפעתו המצטברת של זיהום האוויר הופכת להיות מורגשת באופן חד יותר בגיל מבוגר.

כך או כך אין יצור חי, שיוכל לחמוק מתהליך ההזדקנות שסופו מוות, ולמרות זאת נעשה מאמץ מוגבל בלבד להבנת התופעה והדרכים להתמודד איתה. אלפי שנים היתה ההזדקנות, כמו הגאות והשפל, תופעת טבע, גורל אנושי שאין לברוח מתוצאותיו. המחקר המדעי של ההזדקנות משך תשומת לב נמוכה יחסית, והידע שהצטבר עד היום על תהליך קליני זה הוא דל באופן מפתיע.

אחת הסיבות לכך היא כמובן מורכבותו של התהליך. מדובר בתהליך הנמשך זמן ארוך מאוד, ולכן כדי לנסות ולנתח את תהליך ההזדקנות, יש לעקוב אחרי כל תקופת חייו של האורגניזם עד להיכחדותו. מטעמים מובנים, בעיה טכנית זאת הופכת את חקר תהליך ההזדקנות בבני אדם להשקעה עצומה, אשר את פירותיה ניתן יהיה לקטוף רק שנים רבות לאחר מכן. גם בעכברים, אשר אורך חייהם הוא כשנתיים, הופך המחקר למסובך ויקר ודורש סבלנות רבה ואורך־רוח מצד המדענים שעוסקים בו. כדי להתמודד עם הבעיה, מתבצעים מרבית הניסיונות לבדוק את השאלות הבסיסיות הקשורות לתהליך ההזדקנות בנמטודה המיקרוסקופית C. elegans.

נמטודה היא תולעת עגולה, היצור הרב־תאי הראשון, שהגנום שלו רוצף במלואו בשנת 1998. התולעת חביבה על החוקרים בתחומים שונים בביולוגיה ובנוירוביולוגיה, מאחר שהיא מהיצורים הפשוטים ביותר שיש להם מערכת עצבים

למרות שבמבט ראשון נראה שלא מדובר ביצור מרשים באופן מיוחד, הנמטודה המיקרוסקופית היא אורגניזם משוכלל למדי, ואורך החיים הקצר שלה (בין 15 ל־20 יום), יחד עם עלותה הזולה ונוחיות "התיפעול" שלה הפכו אותה לפופולרית במחקרים על גנים המשפיעים על אורך החיים וקצב ההזדקנות.

גנטיקה או סביבה?

כדי לבדוק אם תהליך ההזדקנות הוא תוצאה של גנטיקה או סביבה, ניתן לבצע ניסוי פשוט, שהפך לאחד הניסויים הבסיסיים של חקר ההזדקנות. אובייקט הניסוי היא קבוצת נמטודות משובטות הגדלות באינקובטור המעניק להן סביבת מחייה מבוקרת. מכיוון שסביבת המחייה של התולעים זהה עבור כולן, הקוד הגנטי שלהן הוא אחיד (מכיוון שכולן משובטות), ניתן היה לצפות שאורך החיים שלהן יהיה זהה. אולם בפועל, התפלגות אורך החיים של התולעים שונה אך במעט מתולעים שאינן משובטות, או שאינן חיות בסביבה מבוקרת.

בשלב זה קשה לתת תשובה חד־משמעית לתוצאות המפתיעות של הניסוי. אחת האפשרויות היא שהסביבה אינה נשלטת באופן מלא, והבדלים קטנים אלה הופכים למשמעותיים בקביעת אורך החיים של הנמטודה. הסבר אחר טמון בעובדה ששיכפול התא אינו מבטיח בהכרח שיכפול מדויק לחלוטין של המידע הגנטי, מה שבהכרח

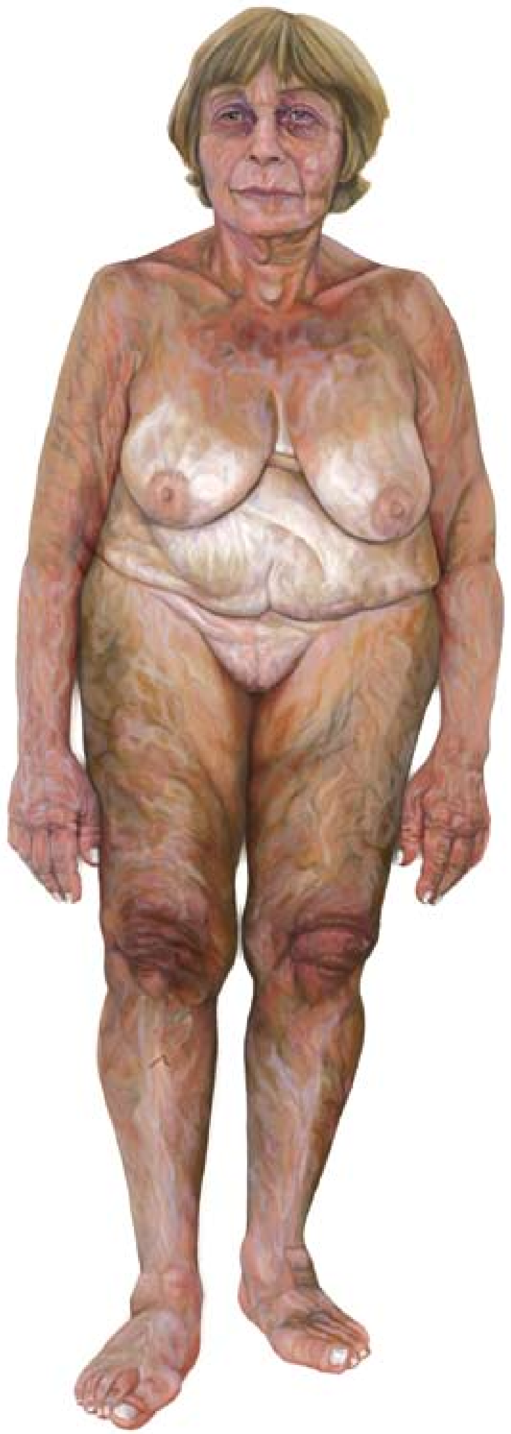
"בתחילת המאה ה־20 היה אורך החיים הממוצע בארה"ב כ־46 שנים, ובתחילת המאה ה־21 הוא מתקרב ל־80 שנה. הסיבות לעלייה הדרמטית הזו אינן ברורות באופן ודאי"

יוצר הבדלים גנטיים בין התולעים השונות. כלומר, למרות שהמטען הגנטי ההתחלתי של התולעים זהה, אם בודקים כל תא באופן ספציפי ניתן למצוא הבדלים בין התולעים. הבדלים קטנים אלה עשויים לגרום להבדלים משמעותיים בתהליך ההזדקנות.

אולם למרות חוסר המובהקות של מסקנות הניסוי, ניתן לקבוע בוודאות שישנם גנים המשפיעים על אורך החיים. אחד הידועים שבהם הוא הגן דאף־2. גן זה התפרסם באמצע שנות ה־90 על־ידי המדענית סינתיה קניון, אשר גילתה שגן יחיד זה מסוגל להאריך את חיי הנמטודה עד מעל לחמישים ימים. **במונחים של תוחלת חיי האדם, הדבר שקול להארכת החיים עד לגיל של כמאתיים שנה**. המנגנונים הביולוגיים הגורמים לכך עדיין אינם ברורים, אך לפחות חלק מהגנים הללו נמצאו מקושרים לצריכה מועטה יותר של מזון, אשר גורמת באופן ישיר להאטת תהליך ההזדקנות ולהארכת תוחלת החיים. מכל מקום, אם בעבר ניתן היה לקוות שיימצא "גן ההזדקנות", מוכיחים המחקרים המודרניים שגם מנגנונים ביולוגיים מוגדרים היטב כגון גובה או צבע העיניים מושפעים על־ידי מאות גנים שונים הפועלים בהרמוניה, ולא על־ידי גן יחיד כפי שאולי סברו בתקופה הפרה־גנומית. התפתחות זו של השנים האחרונות מפוגגת כמעט לחלוטין את התקווה שיימצא גן יחיד האחראי באופן בלעדי על קצב ההזדקנות.

למרות הקשיים הטכניים והעלויות הגבוהות, מתבצעים מחקרים הקשורים לתהליך ההזדקנות גם בבני אדם. מחקר ההזדקנות הוותיק והמקיף ביותר בתחום זה הוא מחקר ההזדקנות ההמשכי של בולטימור (BLSA), אשר מתקיים באופן רציף כבר למעלה מחמישים שנה. המחקר כולל כמה אלפי נבדקים, אשר מטריחים עצמם מדי כמה שנים לבדיקות רפואיות מקיפות. מטרת המחקר היא לבדוק את מכלול השינויים העוברים על אדם בשלבי ההזדקנות, וכן לגלות סמנים ביולוגיים אשר ביכולתם לזהות מבעוד מועד מחלות ותמורות שונות במערכות הגוף. מחקר אחר המנסה לנתח את תהליך ההזדקנות בבני אדם הוא פרויקט "סרדיניה" (SardiNIA). הנבדקים בפרויקט זה הם תושבי האי סרדיניה, הידועים כאחת מקבוצות האנשים ההומוגניות ביותר על פני כדור הארץ מבחינה גנטית, וזאת עקב התחלופה המעטה יחסית של תושבי האי במשך מאות ואלפי שנים. הומוגניות זו הופכת ליתרון קריטי בכל הקשור למציאת הפונקציות של הגנים השונים, שכן הדמיון היחסי בין רצפי ה־DNA של התושבים מאפשר מובהקות סטטיסטית גבוהה יותר כאשר מנסים לבודד תכונות מסוימות ולקשר בינן לבין הגנים המשפיעים עליהן.

אחד הקשרים בין הגנום האנושי לבין תהליך ההזדקנות מתבטא לאו דווקא בגן מסוים, אלא בקטע DNA הנקרא "טלומרה". מדובר ברצף עקר של DNA הנמצא בקצוות הכרומוזומים, אשר תפקידו להגן על הקטע הפונקציונלי של הכרומוזומים בזמן פיצול התא. כלומר, כאשר התא מתפצל והכרומוזומים משוכפלים, סופג הטלמורה את התקלות בשיעתוק קצוות הכרומוזומים כדי שלא ייפגעו הקטעים הפונקציונליים. כך הולך הטלומרה ומתקצר בכל פעם שהתא מתפצל, מה שעשוי לשמש כשעון ביולוגי המשובץ בתוך הצופן הגנטי. לפי תיאוריה אחרת, הזדקנות היא תוצאה של שינויים נקודתיים במטען הגנטי המתרחשים בכל פעם שהתא מתפצל. שינויים אלה הם אמנם מזעריים, אך על־פי גישה זו יתכן שהשפעתם מצטברת בכל פעם שהתא מתפצל, עד שמגיעה לבסוף למצב הסימפטומטי המוכר בשם "הזדקנות".



צריכת קלוריות מקצרת חיים

לעומת התעלומות האופפות את עולם הגנטיקה, השפעת הסביבה על תהליך ההזדקנות מוכרת יותר, ואורך החיים של אדם הינו פונקציה ברורה של הרגליו ואורח חייו. תזונה נכונה, אימון גופני, סביבת מחייה רגשית בריאה והימנעות מהרגלים מזיקים הם כולם גורמים קריטיים המשפיעים על אורך החיים, כמו גם על איכות החיים בגיל מבוגר.

אולם הגורם המעניין ביותר שמשפיע על קצב ההזדקנות הוא נושא צריכת הקלוריות, אשר מזוהה עם חוקר ההזדקנות הנודע, רוי וולפורד. על־פי אבחנה זו, ככל שאורגניזם מסוים צורך יותר קלוריות, מתקצר משמעותית אורך חייו. ניסויים בעכברי מעבדה מראים שתוחלת חייהם של עכברים שחיו תחת משטר תזונה קפדני היתה גבוהה בכחמישים אחוזים בהשוואה לחבריהם, אשר נהנו ממלאי בלתי נדלה של מזון וזללו כאוות נפשם. ניסויים בבני אדם קשים יותר לביצוע, וסקרים שונים שנערכו עד היום מצביעים על מסקנות סותרות. למרות זאת, הגבלת הקלוריות היא למעשה הדבר היחידי אשר השפעתו על האטת קצב ההזדקנות באורגניזמים מסוימים הוכחה באופן ודאי. הסיבה לקשר זה עדיין אינה ברורה. על־פי מייקל ריסטואו, אחד מחוקרי ההזדקנות הידועים ביותר, מקור הקשר בין ההזדקנות לבין צריכת הקלוריות הוא תהליך הפקת האנרגיה בתאים. קשר זה מפנה את תשומת הלב לאברון (מבנה תת־תאי) הנקרא ״מיטוכנודריון״, אשר משמש למעשה כתחנת הכוח של התא.

את ההזדקנות נהוג למדוד בצורה כרונולוגית, לפי מספר הימים (או השנים) שעברו מאז הולדתו של האורגניזם. אולם למרות הפשטות של שיטה זו, ספק רב אם היא אכן משקפת את התקדמות תהליך ההזדקנות בצורה מהימנה. זאת מאחר שבני האדם שונים, כמו גם אורגניזמים אחרים, אינם מזדקנים בקצב זהה, ולמעשה ההבדלים בקצב ההזדקנות בין אורגניזם אחד למשנהו יכולים להיות משמעותיים ביותר. יתרה מכך, גם כשמדובר באותו אדם, אין כל ראיה המבטיחה שקצב ההזדקנות יהיה אחיד ועקבי במשך כל התקופה שלאחר גיל הגדילה.

על־מנת למדוד את קצב ההזדקנות המורפולוגי (בניגוד לקצב הכרונולוגי) של אורגניזם כלשהו, נדרשים סמנים ביולוגיים אמינים המשקפים את מידת ההזדקנות של האורגניזם בכל שלב בחייו. למרות שאלמנטים רבים מראים התאמה ברורה לגיל הכרונולוגי, עדיין לא נמצאו סמנים ביולוגיים אשר משקפים את קצב ההזדקנות בצורה מובהקת וחד־משמעית. סממנים אלה נחוצים במיוחד עבור ניתוח תכונותיו של קצב ההזדקנות ומציאת ציוני דרך בהתקדמות התהליך. בעוד גישה אחת לקצב ההזדקנות מניחה שמדובר בתהליך עקבי בעל קצב אחיד, מדווחים אנשים רבים על תחושת הזדקנות מהירה יותר בתקופות מסוימות בחייהם.

במחקר שהתבצע לאחרונה על־ידי קתרין וולקו ואיליה גולדברג מהמכון הלאומי לחקר ההזדקנות (NIA), נעשה שימוש בשיטות מתקדמות לעיבוד תמונה על־מנת לבדוק שינויים מורפולוגיים במערכת העיכול של נמטודות במשך חייהן. למרבה ההפתעה, חשף המחקר שתהליך ההזדקנות של התולעים אינו אחיד, אלא מורכב ממספר מצבים בדידים, מעין קפיצות. למשל, התולעים אינן מזדקנות במידה משמעותית בין גיל יומיים לארבעה ימים, אבל בסוף התקופה הן מזדקנות בבת־אחת באופן משמעותי. כך מזדקנות התולעים ב״קפיצות״ אשר מעבירות אותן בין המצבים השונים של ההזדקנות. קפיצה משמעותית במיוחד נרשמה בין היום השמיני ליום העשירי לחייהן של התולעים. במידה מסוימת, יכולה ההזדקנות המהירה בגיל זה להיות מקבילה לתחושת הזדקנות מואצת, שעליה מדווחים רבים, אשר מוכרת בשם ״גיל המעבר״.

אחד המפנים המשמעותיים ביותר בתחום ההזדקנות הוא העלייה הדרמטית שנרשמה בשנים האחרונות באורך החיים הממוצע. אם בתחילת המאה ה־20 היה אורך החיים הממוצע בארה״ב כ־46 שנים, הרי שבתחילת המאה ה־21 הוא עומד על קרוב ל־80 שנה. הסיבות לעלייה הדרמטית הזו אינן ברורות באופן ודאי. ברור שלהתקדמות הרפואה יש חלק בכך, וגם התנאים הסניטריים המשופרים בעולם המערבי תורמים למגמה, אך מעבר לכך סביר להניח שמדובר בשילוב של אלמנטים שונים הפועלים בהרמוניה וגורמים להעלאת תוחלת החיים. אולם יחד עם ההישג שבהארכת חיי האדם, ישנם מספר נושאים כבדי משקל אשר צריכים להילקח בחשבון. אחד החששות הגדולים של קובעי המדיניות הוא ההזדקנות המאסיבית של האוכלוסיה והגעה למצב שבו החברה לא תוכל לעמוד בנטל הסעד שתידרש להעניק לאזרחיה המבוגרים. חששות אלה הולכים ומתבררים

>>

"הגורם המשפיע הוודאי על קצב ההזדקנות הוא צריכת הקלוריות: ככל שאורגניזם מסוים צורך יותר קלוריות, כך מתקצר משמעותית אורך חייו. עכברים שחיו במשטר תזונה קפדני, חיו 50 אחוז יותר מעכברים שזללו ללא הגבלה"

>> כבלתי נכונים, שכן למרות שתוחלת החיים נמצאת בעלייה מתמדת, התקופה ה"גריאטרית" שבה זקוק אדם לסעד מלא כדי להתקיים דווקא הולכת ומתקצרת. אתגר משמעותי לא פחות הוא הנושא החברתי, הנובע מתופעה הולכת וגדלה של אנשים המגיעים לגיל אשר נהוג לחשוב עליו כעל גיל פרישה, אך נמצאים עדיין במלוא כוחם ואינם ששים לפרוש מפעילות. לכן, בכדי לנצל את משאביה באופן היעיל ביותר, יהיה על החברה המודרנית להתרגל למצב בו חלק גדול מהאנשים הפעילים בה הם אנשים מבוגרים.

היפאנים מובילים. הנשים מאריכות חיים

אחד המוקדים המרכזיים לחקר העלייה בתוחלת החיים הוא אוקינוואה שביפאן, שבה תוחלת החיים היא הגבוהה בעולם, ועומדת על 78.8 שנים בממוצע לגברים, ו־86.9 שנים לנשים. על כל מאה־אלף מתושבי האי, עברו 35 אנשים את גיל מאה, שזה בערך פי 3.5 משיעור האנשים מעל גיל מאה בארה"ב. למרות שאין ספק שמחוז אוקינוואה הוא ייחודי בכל הקשור להזדקנות, קשה לבודד את הגורמים השונים המעניקים לתושביו את סגולת החיים הארוכים. מחקרים אחדים מצביעים על התזונה העשירה אך דלת הקלוריות של תושבי המחוז, ומציינים במיוחד את המנהג שלא לאכול עד לשובע מלא בשעת הסעודה. מחקרים אחרים מראים שגם לצאצאים של תושבי אוקינוואה שחיים במקומות אחרים יש תוחלת חיים ארוכה מהממוצע, מה שעשוי להצביע על כך שגם לגנטיקה יש תפקיד מסוים. למרות תוחלת החיים יוצאת־הדופן של הנשים האוקינוואיות, האישה המבוגרת ביותר (אשר תאריך לידתה מתועד בצורה חד־משמעית) נולדה וחיה דווקא בצרפת. היא נפטרה בגיל 122 בשנת 1997. בין השאר, זכתה לפגוש באופן אישי את הצייר וינסנט ואן־גוך כאשר היתה נערה.

בעל החיים הזקן ביותר שמוכר לנו הוא צב הגלאפגוס שחי ככל הנראה מאות שנים. ידוע על צב כזה שגילו מעל 180 שנה. בעלי חיים "איטיים" חיים בדרך כלל יותר זמן

תופעה מובהקת נוספת של ההזדקנות בבני האדם היא שתוחלת החיים של נשים גבוהה יותר מזו של הגברים. אבחנה זו עקבית כמעט בכל מדינה, ללא כל קשר לאורך החיים הממוצע בקרב האוכלוסיה הכללית. כמו בשאלות רבות הקשורות בהזדקנות, גם בנקודה זו קשה לקבוע אם מקור השוני הוא בהבדלים גנטיים בין נשים לגברים, בהרגלי האכילה השונים, בהבדלים באורח החיים, או אולי בשילוב של כל הגורמים יחד.

העלייה במשקל האוכלוסיה הבוגרת מעלה מאוד את שכיחותן של מחלות שונות והופכת את המחלות המשויכות להזדקנות לנפוצות הרבה יותר מבעבר. דוגמה מובהקת לכך היא מחלת ניוון המפרקים (Osteoarthritis), אשר הפכה ממחלה נדירה בתחילת המאה שעברה למחלה הנפוצה ביותר במדינות המתועשות, ומשפיעה על כשמונים אחוזים מהאוכלוסיה מעל גיל 65 ועל מאה אחוזים מהאוכלוסיה מעל גיל 75. אמנם לא מדובר במחלה מסכנת חיים, אך בהחלט מדובר במצב קליני בלתי נעים המסוגל לגרום לפגיעה מוחלטת ביכולת התנועה. למרות שנראה כי מדובר במחלה פשוטה, עדיין לא מוכרת שיטה אשר יכולה להחזיר לאחור או לעצור את תהליך שחיקת הסחוס, הגורם בסופו של דבר למחלה. הדרך היחידה להתמודד עם מצב זה היא באמצעות החלפת המפרק – מהלך מורכב אשר הצלחתו אינה מובטחת, ובכל מקרה מהווה פיתרון זמני בלבד, שכן מפרק מלאכותי מסוגל לשרת את הגוף ביעילות למשך מספר שנים בודדות, לפני שיהיה צורך להחליף גם אותו.

תה ירוק ויין אדום מוכרים כיום כמעכבים של המחלה, וגם משקל גוף תקין הוא גורם משמעותי עבור מניעת שחיקה מואצת של הסחוס. מנגד, עודף משקל או פגיעות באזור המפרק (ובמיוחד במיניסקוס) עשויים להגדיל באופן משמעותי את הסיכוי לשחיקת מוגברת של הסחוס בגיל מבוגר.

מחלה אחרת, המאפיינת אוכלוסיה בגיל מבוגר, היא אלצהיימר, תהליך שבו מתים תאי המוח, המתבטא בנסיגה בתיפקוד הקוגנטיבי, באובדן הזיכרון ובהפרעות התנהגותיות, ועשוי לגרום לבסוף לחוסר יכולת לבצע פעולות יומיומיות פשוטות. בדומה לניוון המפרקים, גם לאלצהיימר לא נמצאה תרופה מוחלטת, אך ישנן דרכים לעכב באופן משמעותי את קצב התפתחותה. מחקרים רבים מראים באופן חד־משמעי שהפעלה סדירה של יכולות החשיבה מפחיתה מאוד את הסיכוי ללקות באלצהיימר. משחק שחמט, לימוד שפות חדשות, נגינה (ובמיוחד לימוד יצירות חדשות), ובאופן חלקי גם פיתרון תשבצים – הן פעולות שאם הן מתבצעות באופן סדיר הן מסייעות מאוד לעכב את הופעתה של מחלת האלצהיימר. מנגד, פעולות שאינן דורשות מאמץ אינטלקטואלי, כגון צפייה בטלוויזיה או משחקים שאינם מצריכים מחשבה, אינן תורמות דבר למניעת היחלשות היכולות הקוגניטיביות לעת זקנה. גם לתזונה יש השפעה על האלצהיימר, ובהקשר זה ידועים במיוחד הסלרי והפלפל הירוק כבעלי סגולה לעכב את המחלה. למרות שניתן לעכב את האלצהיימר באופן משמעותי, עדיין לא ברור אם קיימת דרך לעצור את התהליך באופן מלא.

על־מנת לעכב תהליכים המשויכים להזדקנות וכדי לשפר את איכות החיים בגיל זה, מומלץ כיום להקפיד על אימון גופני סדיר, וכן אימון אינטלקטואלי, המסייע לעכב את היחלשות היכולות הקוגניטיביות. האימון הגופני שעליו ממליץ המכון הלאומי האמריקאי לחקר לב, ריאות ודם (NIHLB) הוא חצי שעה יומית של אימון "מתון". אימון המוגדר "מתון" הוא אימון המביא להזעה ולהגברת הדופק, אך עדיין מאפשר לנהל שיחה תוך כדי הפעילות. אימון עקבי של הגוף ושל יכולת המחשבה מעכבים מאוד את המחלות האופייניות להזדקנות ותורמים לאיכות חיים גבוהה יותר בגיל מתקדם. גם למזון יש השפעה משמעותית ביותר על קצב ההזדקנות ואיכות החיים בגיל זקנה, ותזונה סדירה ומאוזנת ומיעוט בצריכת קלוריות משפרים מאוד את איכות החיים בטווח הארוך. איגוד הלב האמריקאי (AHA) ממליץ על אכילת פירות וירקות, מוצרי קמח מלא, כמות מוגבלת של יין אדום, וכן על מאכלים המכילים את השומן אומגה־3 כגון דגים (הכמות המומלצת היא 2.7 מנות דג שבועיות). מנגד, מומלץ להימנע מצריכת אלכוהול, בשר אדום, מלח ובשרים מעובדים שונים וכן אכילת שמני טיגון המכילים את השומן אומגה־6. דבר חשוב נוסף עליו מומלץ להקפיד הוא רגיעה למשך פרק־זמן מסוים ביום, כיוון שיש לרגיעה זו השפעות חיוביות על יכולת הריכוז והבריאות הכללית, אם כי עדיין לא נמצא קשר מובהק בינה לבין תוחלת החיים. אחת מצורות הרגיעה התופסות תאוצה בהקשר זה היא היוגה, אך גם שעה יומית של הליכה מתונה יכולה לגרום לאפקט דומה.

ועכשיו לתחזית. אם יימשך קצב הארכת החיים הנוכחי גם במאה ה־21, הרי שאנו מדברים על אורך חיים שינוע סביב גיל 120 לקבוצות גדולות של אוכלוסיה, בעיקר במדינות המפותחות. מהו הגבול? האם קיים גבול שכזה? היכולת הפיזית של האדם משתפרת ושוברת שיאים כמו שראינו באולימפיאדה האחרונה כאשר האצן הג'מאיקני לוסיאן בולד שבר את שיא המאה בתוצאה שנחשבה רק לפני זמן קצר כבלתי אפשרית לגוף האנושי. פריצות דרך בתחום מחקר הזקנה עשויות בהחלט לזרז את הקצב ולשבור את שיאי הארכת החיים.

הארכת חיים שכזו מהווה שינוי מהותי לאורח החיים שלנו, לחלוקת פרקי החיים הקלאסית, לשוק העבודה ולמעמד המשפחה. זהו אתגר חברתי עצום, שאמור להבטיח כי הזקנה תהפוך לעוד שלב אחד בחיים, ולא למסדרון מאיים, המוביל בסבל אל המוות הצפוי. ■

lshamir@mtu.edu

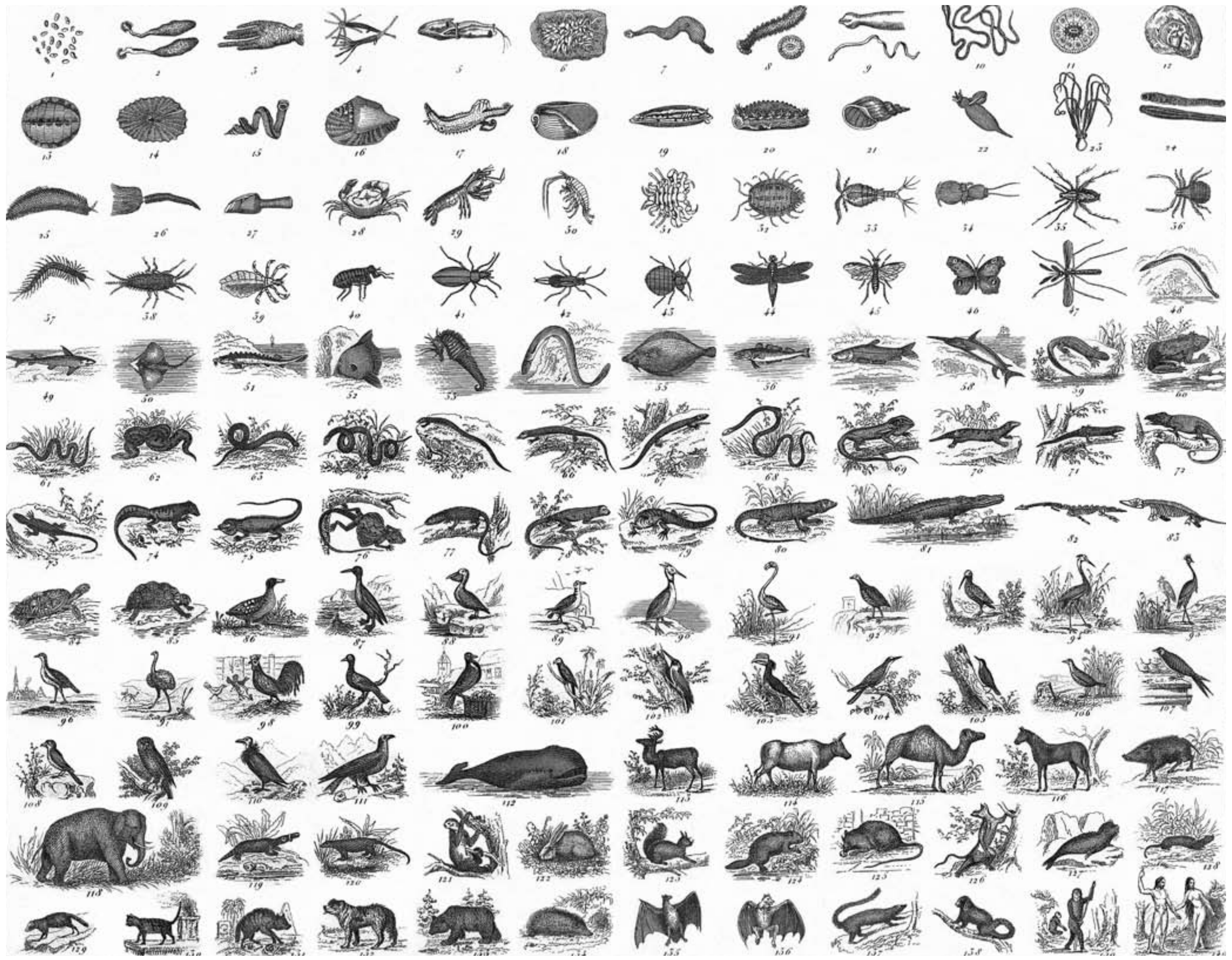
ספרים שטלטלו את העולם

70

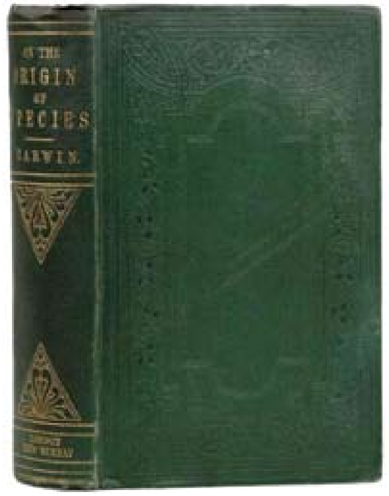
אריק גלסנר

כן, אנחנו חיות

המהדורה הראשונה של "מוצא המינים" הודפסה ב־1,250 עותקים שנחטפו ביום אחד. תוך תקופה קצרה חוללה תיאוריית האבולוציה "מהפכה קופרניקאית", שהציגה את האדם – נזר הבריאה – כחוליה מתוך שושלת יצורים חיים. מאבק הבריאתנים בדרווין נמשך עד היום, אבל האבולוציה והברירה הטבעית הפכו לחלק בלתי נפרד מהבנת העולם של כולנו



דימוי: Visual Photos



מוצא המינים – מהדורה ראשונה |
תמונה: ויקישיתוף

■ שלושה רעיונות מרכזיים, המשתלשלים זה מזה, ניצבים בבסיס "מוצא המינים" של דרווין. הראשון: מתנהלת מלחמת קיום בין יצורים חיים; השני: מתרחשת ברירה טבעית שגורמת להישארות המותאמים ביותר; השלישי: יש תהליך תמידי של אבולוציה. רעיון רביעי משתמע מהספר, אם כי לא נדון בו במפורש: האדם הוא חיה ככל החיות האחרות והוא חלק משושלת האבולוציה. הרעיונות הללו חרגו במרוצת המאה ה־19 ובמחצית הראשונה של המאה ה־20 הרחק מתחומה הצר של הביולוגיה אל פילוסופיות פופולריות, ויכוח תיאולוגי ואידיאולוגיות פוליטיות דומיננטיות.

מפליא עד כמה מהר הפכה התיאוריה הכל־כך מהפכנית על מוצא האדם למקובלת על רוב חוקרי הטבע והביולוגיה המובילים. בעוד הוויכוחים עם אנשי רוח ודת נמשכים בעוז עד היום, קיבלה הקהילה המדעית את התיאוריה הדרוויניסטית כמעט ללא הסתייגויות ובכך הפכה את "מוצא המינים" לאחד הספרים המשפיעים ביותר בהיסטוריה האינטלקטואלית האנושית.

דרווין עבד על הספר מעל עשרים שנה וניסה להתמודד מראש עם ההתקפות הצפויות. על "מלחמת הקיום" כתב:

"**מהמון יחידים, שכל מין מעמיד לתקופות, לא יוכלו להישאר בחיים אלא מועטים בלבד**" ("מוצא המינים", עמ' 41).

כמות המשאבים בטבע מוגבלת ולפיכך ניטשת עליהם תחרות בין בני המינים הביולוגיים.

תוצאת "מלחמת הקיום" הזו היא תהליך של "ברירה טבעית" או "הישארות המתאימים ביותר". מתוך המלחמה על הקיום שורדים "המותאמים־ביותר", כלומר אלה שתכונותיהם הביולוגיות איפשרו להם להתמודד ביתר קלות בתנאים הסביבתיים שבהם הם חיים. דרווין, כאמור, משתמש בדרך כלל בביטוי "המותאמים־ביותר" (fittest), ולא "החזקים". כלומר שרידת אלו המסתגלים לתנאי החיים הספציפיים ולא החזקים פיזית. גם הוא הבין כי במקרים מסוימים חוסן פיזי עלול להוות חולשה מובהקת:

"**נעיין, למשל, במקרה הזאב הטורף חיות שונות ומשיג את טרפו על־ידי תחבולה או על־ידי קלות רגליים, ובמקרים אחרים על־ידי כוח; נניח שהטרף המהיר ביותר, למשל הצבי, התרבה בארץ מחמת חליפות תנאיה (...) הסיכויים הטובים ביותר להישאר בחיים ולהתקיים בתנאים אלה הם לזאבים קלי הרגליים ודקי הגזרה ביותר, ולכן אלה הם הנשארים בחיים, או הנבחרים, כמובן בתנאי שהם חזקים למדי להכניע את טרפם**" (עמ' 59).

כלומר, הזאבים הדקים והמהירים ישרדו יותר מהחזקים והכבדים.

"הברירה הטבעית" משנה אט־אט את אופיים וצורתם של היצורים החיים. כל דור מוריש את וריאציית תכונות המין שסייעו לשרידתו לדור הבא, הנאבק אף הוא ב"מלחמת הקיום" ומוסיף וריאציה נוספת משלו וחוזר חלילה. התוצאה היא "אבולוציה" מתמדת. דרווין לא היה החלוץ בהצגת רעיון התפתחות המינים. אבל הוא היה הראשון שביסס בהוכחות את הרעיון הזה ואת המנגנון שמאפשר אותו. המינים המופיעים לנגד עינינו בטבע לא היו קיימים בצורתם הנוכחית מקדמת דנן. הם התפתחו מצורות חיים ראשוניות עד שכלולן בהווה, והם ממשיכים להתפתח.

אלפרד וואלס, האיש שפיתח את תיאוריית האבולוציה כמעט במקביל לדרווין הוא שהציע בשנת 1866 לדרווין לנטוש את מושג ה"ברירה הטבעית" ולהשתמש בביטוי "שרידת המתאימים / כשירים ביותר" (ביטוי של הרברט ספנסר), וזאת כדי למנוע מטרה או כוונה בתהליך האבולוציה. דרווין קיבל את הצעה וצירף את הביטוי בהוצאות מאוחרות יותר

ומכאן המסקנה הדרמטית מכולן – גם האדם התפתח מצורות חיים ארכאיות. דרווין ב"מוצא המינים", חשוב לציין, נמנע מלעסוק בסוגיה הנפיצה הזו: "לעתיד לבוא", הוא כותב, "הרבה אור יופץ על מוצא האדם ותולדותיו" (עמ' 365). הוא יעסוק בה רק בספרו משנת 1871, "מוצא האדם".

הרעיונות של "מלחמת הקיום" ו"הברירה הטבעית" שימשו הצדקה לתפיסות של קפיטליזם תחרותי פרוע כמו גם, להבדיל, לתפיסות פאשיסטיות המצדדות בעליונות הגזע, אלימות לשם אלימות ובמלחמות גזעים על "מרחב מחייה".

דרווין הושפע כידוע מרעיונותיו הכלכליים של תומאס מאלתוס בדבר חוסר איזון בין האוכלוסיה למשאבים כלכליים, חוסר איזון הגורם למלחמת הקיום. חברת השפע המודרנית והיכולת לייצר משאבים בכמויות גדולות והולכות לא תמכו בתיאוריית מלחמת הכל בכל, שהוצגה תמיד כמסקנה הנובעת מהברירה הטבעית

רעיון ה"אבולוציה" שימש, מאידך גיסא, כאישוש לתפיסה המארקסיסטית על התפתחותה הבלתי נמנעת של ההיסטוריה לקראת שלטון הפרולטריון (המארקסיזם גם השתמש ברעיונות "מלחמת הקיום" להסברת

>>

>>

האנטגוניזם בין המעמדות, אם כי, כמובן, לדידו המנצחים יהיו מי, שלדעת יריביו האידיאולוגיים יהיו המפסידים).

מהברירה הטבעית להישרדות טלוויזיונית

מהן ההשפעות של התיאוריה הדרוויניסטית על התרבות הכללית בפתח המאה ה־21? מהם ההבדלים, אם ישנם, בין ההשפעות וההשלכות של הרעיונות הדרוויניסטים היום לאלה בעבר?

התפיסה שמוצא האדם מהחיה מצויה בכל אשר נפנה בתרבות העכשווית. הרעיון הדרוויניסטי על מוצאו החייתי של האדם ניתן לאיתור, למשל, במקום מובן מאליו לכאורה בתרבות הפופולרית העכשווית: תוכניות האוכל ותוכניות הספורט. תוכניות הטלוויזיה על אוכל, למשל, המתרבות כפטריות כמהין אחר הגשם – הרבות לאין־ערוך בהשוואה לתוכניות התרבות – אינן מובנות מאליהן, כפי שנדמה. לטעמי, הן ממחישות את המקום המועדף שתופסת בציוויליזציה פונקציה בסיסית כל־כך כמו האכילה, פונקציה שמשותפת, כמובן, לאדם ולחיה כאחת (בניגוד לתרבות, המושתתת על שפה ועל היכולת האנושית הייחודית ליצירת דימויים מורכבים). בסיום אחד מהפרקים של תוכנית אוכל ישראלית כזו, "גידי גוב הולך לאכול", שאל בקול המנחה, בכנות אופיינית, "מה זה העניין הזה עם האוכל? מה אנחנו חיות?" והשיב: "כן, אנחנו חיות".

התפיסה שהאדם הוא חיה, על כל החולין והרדוקציה שכרוכים בה, משוקעת גם בתופעה טלוויזיונית מרכזית אחרת בעידן שלנו: תוכניות הריאליטי. מאחורי כל הקונספטים השונים של ז'אנר התוכניות הללו מצויה מטאפורה בסיסית אחת: ניסוי מעבדה. אנשים נכלאים במקום אחד והתנהגותם נצפית מבחוץ כמו שמדענים בוחנים חיות במעבדותיהם. התצפית מאשרת את מה שידוע מראש: בני האדם מונעים על־ידי רגשות ויצרים בסיסיים כמו אחיותיהם החיות. הציוויליזציה והתרבות – ורומזת, למשל, תוכנית כמו "הפוליגרף" – היא צביעות, מעטה דקיק שהתוכנית חושפת אותו, ומגלה את האדם בעירומו החייתי. תוכנית ריאליטי אחרת, "הישרדות", מלבד העובדה שהיא כוללת בשמה במפורש את הרעיון הדרוויניסטי של "הישרדות המסוגלים־ביותר", לקחה צעד קדימה את רעיון ניסוי המעבדה ומיקמה אותו ב"טבע" עצמו, אותה זירה, שכאשר שקע אבק מאבקי ההישרדות שהתחוללו בה, עלה ממנה ההומו־סאפיינס.

אבל נדמה, שבקונטקסט של התרבות העכשווית איבדו הרעיונות הדרוויניסטים את אופיים השערורייתי וחריפותם וקיבלו צביון "רך" יותר. תו ההיכר של נוכחותם כיום הוא היעדר הזעזוע ולא ההתרסה והרדיקליות שאיפיינו את הצגתם ואת השימוש בהם בעבר. במאה ה־19, הזדעזע ניטשה מההשלכות המנמיכות של הגילוי על מוצא השושלת האנושית שאותו קיבל. הוא עמל על פיתוח רעיון ה"על־אדם" על־מנת להשיב לבני האנוש את גאוותם העצמית וייחודם; רעיון אצילי ומלא פאתוס, שעוות על־ידי הנאצים לצרכי תורת הגזע שלהם. פרויד ראה בהכרה במוצא החייתי של האדם פגיעה אנושה בגאווה האנושית, המשולה לפגיעה שנגרמה בעטיו של הגילוי של קופרניקוס, שהארץ אינה ניצבת במרכז היקום. אולם נדמה, כי בראשית המאה

> **"התפיסה שהאדם הוא חיה, על כל החולין והרדוקציה שכרוכים בה, משוקעת גם בתופעה טלוויזיונית מרכזית אחרת בעידן שלנו: תוכניות הריאליטי. מאחורי כל הקונספטים השונים של ז'אנר התוכניות הללו מצויה מטאפורה בסיסית אחת: ניסוי מעבדה. אנשים נכלאים במקום אחד והתנהגותם נצפית מבחוץ כמו שמדענים בוחנים חיות במעבדותיהם. התצפית מאשרת את מה שידוע מראש: בני האדם מונעים על־ידי רגשות ויצרים בסיסיים כמו אחיותיהם החיות"**

ה־21, ההכרה בטבעו החייתי של האדם, כמו גם בשאר הרעיונות הדרוויניסטים, חסרה את אותה ארסיות. ההכרה הזו בנאלית ועייפה משהו כיום, משועשעת יותר מאשר מתפלצת.

מדוע תחושת הבנאליות והיעדר השערורייתיות? בגלל שהתרגלנו? כי הדרוויניזם כבר אינו חידוש מזעזע? התשובה לכך חיובית אולם אינה ממצה. ישנן כמה התפתחויות משמעותיות, שאירעו מאז אמצע המאה ה־19, שתרמו לנטילת העוקץ מהרעיון שמוצא האדם הוא מהחיה, כמו גם לרעיונות הנלווים של "מלחמת הקיום" ו"הישרדות המתאימים־ביותר". אלה הן התפתחויות טכנולוגיות, פוליטיות, כלכליות ולבסוף פילוסופיות.

חיות או מחשבים?

ראשית, התפתחות **הטכנולוגיה**: קיים הבדל גדול בין העידן שלנו לעידן בו פרסם דרווין את ספרו. בשנת 1859, זמן פרסום הספר, חי חלק גדול מהאנושות בקירבה אינטימית לטבע. אזורים נרחבים, גם במערב, היו בעלי אופי חקלאי או אף לא מיושבים ופראיים. הזיקה בין האדם לטבע, על אף שנגדה את ההשקפה הדתית על "מותר האדם" שהיתה עדיין בעלת סמכות גדולה במערב, היתה מאיימת יותר הן בגלל עוצמתו הניכרת עדיין של הטבע והן, דווקא, בגלל התקבלותה על־ידי הלב, שנבעה מהקירבה הפיזית של בני האדם לעולם החי והצומח.

אולם בראשית המאה ה־21, כשמרכזי הציוויליזציה הם הכרכים הגדולים, כשהטכנולוגיה האנושית מקיפה אותנו מכל עבר, כשהשטחים הפתוחים והלא מיושבים מצטמצמים והולכים, כשהמפגש שלנו עם חיות הפרא מצטמצם לגני החיות, כש"הטבע" הוא מה שרואים ב"נשיונל ג'יאוגרפיק" בטלוויזיה – הופכת התגלית הדרוויניסטית על מוצא האדם לפחות ופחות מוחשית.

העולם הפך למלאכותי כל־כך, ליציר כפיו המובהק של האדם, שבאופן פרדוקסלי, עם קבלתה הכמעט־מלאה של התיאוריה

הדרוויניסטית על־ידי הממסד המדעי, בתחושת היומיום של בני האדם היא פחות ופחות נראית רלוונטית. הדמיון של בני המאה ה־21 מוצא יותר משמעות בהשוואה בין האדם למחשב מאשר בין האדם לקוף. האדם הוא יותר מכונה מאשר אורגניזם. האדם הוא יותר אל בורא מאשר חיה נבראת. האדם אולי הוא חלק מהטבע, אבל הוא חיה מתוחכמת כל־כך, שביכולתו לשלוט בטבע עצמו, ביכולתו להנדס אותו גנטית. הקוף לא יגיע לעולם לירח, לא יפצח את האטום, לא יידע לעולם לשבט, לא ימציא את האינטרנט, לא ינסה לשחזר את המפץ הגדול. הוא גם לא יוכל לעולם לסכן את הפלנטה כולה באמצעות חימומה יתר על המידה. הטכנולוגיה ניצחה את הטבע. הרעיון הדרוויניסטי על מוצא האדם מאבד בתרבות העכשווית הרבה מעוקצו ונדמה כאנכרוניסטי, ככל שהאנושות מתרחקת והולכת ממוצאה הקדום באמצעות ההתפתחותיות המדעיות המדהימות של העשורים האחרונים.

בגין ההתפתחויות הטכנולוגיות, דווקא רעיון האבולוציה הדרוויני, בניגוד לרעיון על מוצאו החייתי של האדם, מוצא לו הד בתפיסות עכשוויות על התפתחות הציוויליזציה. דרווין הציג רעיון התפתחות סיבתי ולא טלאולוגי (תכליתי). בניגוד לרעיונות אבולוציוניים פילוסופיים בני המאה ה־ 19, של הגל ומארקס, או הרעיון המשיחי הדתי הוותיק, שראה את ההיסטוריה כמונעת לכיוון יעד אוטופי, דרווין לא סבר שיש תכלית למסע האבולוציה. הרעיון הזה של התקדמות ללא "קידמה", רלוונטי היום לאור האבולוציה המהממת של הטכנולוגיה. מה התכלית של ההתקדמות הטכנולוגית הזו? האם יש לה תכלית בכלל? או שהיא התפתחות בלתי נמנעת, שכלול גובר והולך, ללא תכלית, ממש כמו מודל האבולוציה של עולם החי שהציע דרווין?

הקפיטליזם ומלחמת הקיום

להבדל **הטכנולוגי** הזה, בין אמצע המאה ה־19 לראשית המאה ה־21, מצטרפים הבדלים

עמוד הפתיחה. השם המלא של הספר |
תמונה: ויקישיתוף

מכריעים נוספים, הבדלים **פוליטיים וכלכליים**. התמתנות ההשפעה של רעיונות "מלחמת הקיום" ו"שרידת המתאימים־ביותר" נובעת מניצחון הדמוקרטיות המערביות במלחמת העולם השנייה ומהשינוי שעבר הקפיטליזם מאז פרסומה של התיאוריה הדרוויניסטית.

עד מחצית המאה ה־20 מוגרו האידיאולוגיות הפאשיסטיות והדמוקרטיות המערביות ניצחו. הרעיון הדמוקרטי, המושתת על הרעיון של "איש אחד – קול אחד", שוויון זכויות האזרחים בחברה בפני החוק והגבלת היכולת לעריצות הרוב, ממתן את הקונפליקטים החברתיים ומסדיר את היחסים האנושיים באופן מתון בהרבה מאשר הפתרון החסלני לקונפליקטים בטבע שהציג דרווין.

בתחילת השליש השני של המאה ה־20, עבר הקפיטליזם משבר ותמורה, ועם תום מלחמת העולם השנייה נחל רעיון "מדינת הרווחה" הצלחה גדולה. בשליש השלישי של המאה ה־20, על אף תחייתה של תיאוריית "השוק החופשי" והפגיעות החמורות ב"מדינת הרווחה", לא נעלמו השפעותיה המרסנות של התקופה הקודמת. המכה שספג הקפיטליזם רק לאחרונה ועלייתו של ברק אובאמה באמריקה מחזירים את המודלים הכלכלים השיתופיים אל קדמת הבמה. גם המעבר מכלכלה של ייצור לכלכלה של צריכה ושפע, הפך את התחרות הכלכלית לתחרות של שידול ולא למאבק אלים על משאבים. הפרסום המשדל הוא אחד המנועים המרכזיים של הכלכלה ולא ההשתלטות האלימה על משאבי טבע. לכן המטאפורה הדרוויניסטית של "מלחמת הקיום" נראית חלשה יותר בשדה הכלכלי. נוסף על כך: הפעפוע של מדע הפסיכולוגיה לשיטות הניהול והארגון של הקפיטליזם (כפי שניתחה אווה אילוז בספרה "אינטימיות קרה – עלייתו של הקפיטליזם הרגשי"), הפך את הזירה הקפיטליסטית לפחות ברוטאלית ולפיכך לפחות נוהה אחרי מטאפורות דרוויניסטיות.

כמובן שהחברה המערבית הקפיטליסטית היא תחרותית מאוד ומעריצה טייקונים ואוליגרכים שניצחו ב"מלחמת הקיום", ופה ושם ניתן הד לתפיסה הדרוויניסטית בהקשר הזה, אבל זרמים תרבותיים רבי כוח מרסנים את התחרותיות הזו או מבקשים לטשטש אותה, ובכל מקרה התחרותיות הזו אינה תחרות **לחיים ולמוות** בחברות השפע המערביות, אלא תחרות על סטטוס. לכן, אולי, זיקה לדרוויניזם של "מלחמת הקיום" ו"הישרדות המותאמים ביותר", נשמרה במידה מסוימת בתרבות העכשווית בנוגע לסקס. ביטויים כמו "זכר אלפא" ו"נקבת אלפא", שמוצאם בביולוגיה, בתיאור ההיררכיה בממלכת החיות, זלגו בתרבות הפופולרית לתיאור התנהגות והיררכיה אנושיות.

עם דעיכתן של האידיאולוגיות הפוליטיות הגדולות, עם ביסוסן של דמוקרטיות השפע ובמקביל המהפכה המינית של שנות השישים, חל היסט בדמיון של התרבות הפופולרית מהמאבקים הקולקטיבים (הלאומיים, הגזעיים והמעמדיים) לחיים ולמוות, למישור המאבקים האינדיווידואליים על סטטוס ותענוגות. הצלחתו הספרותית החריגה של הסופר הצרפתי, מישל וולבק, שדן בספריו בתחרות המינית הפרועה הקיימת לטעמו בחברה המערבית כיום, מדגימה את ההיסט של המטאפורות הדרוויניסטיות מתחום הפוליטיקה והכלכלה לתחום היחסים הבינאישיים.

>>

למעשה, השפעת הרעיונות הדרוויניסטים בפתח המאה ה־21 על הפוליטיקה והכלכלה, במידה ויש כזאת, שונה ב־180 מעלות מהשפעתם בעבר. אם במאה ה־19 מי שאימצו רעיונות דרוויניסטים של "מלחמת הקיום" ו"הישרדות המותאמים ביותר", בשדה הפוליטיקה והכלכלה, היו הרדיקליים מימין ומשמאל (פאשיסטים, קומוניסטים וליברלים קיצוניים), שתמכו בפוליטיקה אנטגוניסטית, שהדגישו את החלקים הדיס־הרמוניים והרדיקליים בתיאוריה הדרוויניסטית, הרי שכיום מי ששואב השראה מדרווין בפוליטיקה הם דווקא אלה שתומכים בפוליטיקה הרמוניסטית, אלה שמבקשים למתן את מפעליו ההרסניים של האדם, כלומר השמרנים מבחינה מסוימת.

התפיסה של דרווין על היות האדם חלק ממחלכת החי נוכחת כיום לא רק בתופעות תרבותיות החותרות תחת החשיבות העצמית האנושית והמבקשות לחשוף את דקיקות מעטה התרבות האנושית, כמו תוכניות הריאליטי, אלא גם במגמות שדווקא מבקשות להרחיב את אחריותו המוסרית של האדם.

תנועות שונות ברחבי העולם מציגות בעשורים האחרונים תפיסה פוליטית חדשה המצדדת בזכויותיהם של בעלי החיים (למשל, עמותת "תנו לחיות לחיות" הישראלית). ניתן לראות בהרחבת הפוליטיקה כך שתכלול גם את ממלכת החי – הרחבה חסרת תקדים כמעט בתולדות האנושות – השפעה מאוחרת של דרווין. באותו אופן ניתן לראות השפעה מאוחרת של הדרוויניזם גם בפוליטיקה האקולוגית ה"ירוקה", תופעה משמעותית בהרבה מבחינה פוליטית מהתנועה למען זכויות בעלי החיים, המדגישה את אחריותו של האדם ליקום ואת הסכנות שבהשחתת הטבע בידי החיה האנושית. באופן פרדוקסלי, דווקא תפיסות הקרובות להשקפת עולם דתית, שמצדדות בענווה אנושית והכרה שהאדם הוא חלק ממכלול גדול ממנו, תפיסות המבקשות למתן את המהפכנות המתמדת של הקפיטליזם המערבי, הן אלה ששואבות כיום השראה מהתפיסה הדרוויניסטית של היות האדם חיה.

אולם נוסף על התמורות **הטכנולוגיות, הפוליטיות והכלכליות**, שנטלו חלק גדול מהעוקץ של הרעיונות הדרוויניסטים, חל שינוי **פילוסופי** בעידן שלנו, הנוגע **לתמונת האדם**, שמקהה את עוקצם.

מהו אדם?

התיאוריה של דרווין היא רק גורם אחד בין גורמים רבים (שתי מלחמות העולם במאה ה־20; ניצחון רעיון הדמוקרטיה הליברלית; פיתוח הנשק הגרעיני ועוד), שתרמו לצמיחתה של תפיסת אדם אירונית ולא־הרואית, החשדנית כלפי פאתוס מכל סוג שהוא. בראיית עולם אירונית ועוינת־פאתוס שכזו, הרעיון על מוצאו החייתי של האדם אינו גורם להרמת גבה ולא להטלת ארס. להיפך, הוא נראה רעיון עניו התואם את היעדר הפאתוס ורדיפת הנוחות שמעודדות הדמוקרטיות הליברליות ואת תחושת האירוניה העצמית של האנושות שעודדה ההיסטוריה העקובה מדם של המאה ה־20.

כתוצאה מאותן התפתחויות צמח גם מודל האדם האידיאלי של תקופתנו. בדמוקרטיות השפע המערביות, באקלים תרבותי טיפולי, רך ו"מקבל", רווח המושג הביולוגי המושפע מדרווין של "אדפטיביות": יכולת הסתגלות לסביבה. המושג הזה, שנלקח מהביולוגיה לשימוש בפסיכולוגיה ("התנהגות אדפטיבית"), מלמד על ההיסט ההרמוני שעבר הדרוויניזם בעידן שלנו. האדם אינו מצוי בתחרות אלימה בחברה, אלא עליו ללמוד להסתגל לתנאי החיים שלו, והכל יבוא על מקומו בשלום. בדיון במושגים הדרוויניסטים רווחות כיום ההדגשה וההטעמה שדרווין לא דיבר על שרידת **החזק**, אלא על שרידת **הסתגלן**. הדיוק הנפוץ הזה מבטא את רוח התקופה: הגיבור של תקופתנו אינו הלוחם כי אם המסתגל לסביבתו: החביב, החלקלק, החברותי, הערמומי, "התקשורתי". גיבורי הדור הם הסלבריטאי ואיש העסקים, ולא ה"גיבור" או "המנהיג" (ואפילו טיפוס האמן האינדיבידואל, "הזאב הבודד", נתקל בחשדנות באווירה כזו, אלא אם כן הוא תופס נפח שלא ניתן להתעלם ממנו, ורק אז זוכה להערצה). גם בתוכנית "הישרדות" המוזכרת, "השורד" הוא התחמן והמניפולטיבי ולא החזק פיזית או "המנהיג הטבעי". המנצח בחברה המערבית של היום הוא אדם שיודע לטוות קשרים ולשתף פעולה, או לחתור בערמומיות, כאיש עסקים, ולא המצביא היוצא לקרב בראש צבאו; המנצח הוא מי שמתחבב על ההמונים, מי שהפך את עצמו למפורסם, ולא "המנהיג" שהשליט את רצונו בכוח או בכוח אישיותו.

בראיית עולם דמוקרטית כזו, שמבקשת לטשטש את ההיררכיה והאנטגוניזם בחברה, הרעיונות האלימים על "מלחמת הקיום" ו"הישרדות המותאמים ביותר", אינם זוכים לאהדה. בתפיסת עולם אירונית ועוינת־פאתוס כזו רעיון האדם־החיה אינו מעורר זעזוע אלא משיכת כתף לאה.

יש הרבה תועלת, זהירות ונוחות, בהשקפה הדמוקרטית־האירונית הזו, אבל אין הרבה "**הוד והדר בהשקפה זו על החיים**", אם לחזור ולצטט שוב את דרווין. ■

arikglasner@hotmail.com

אריק גלסנר הוא מבקר ספרות בעיתון "מעריב" וסופר. כותב דוקטורט בחוג לספרות עם ישראל באוניברסיטת בר אילן.

"הדמיון של בני המאה ה־21 מוצא יותר משמעות בהשוואה בין האדם למחשב מאשר בין האדם לקוף. האדם הוא יותר מכונה מאשר אורגניזם. האדם הוא יותר אל־בורא מאשר חיה־נבראת. האדם אולי הוא חלק מהטבע, אבל הוא חיה מתוחכמת כל־כך, שביכולתו לשלוט בטבע עצמו, ביכולתו להנדס אותו גנטית. הקוף לא יגיע לעולם לירח, לא יפצח את האטום, לא יידע לעולם לשבט את עצמו"

"באוכלוסיות שונות, התורשתיות של אותה תכונה יכולה להיות שונה מאוד. הדבר מורכב עוד יותר אם נסתכל ברמת הפרט. האם השמנה אצל הילד שלי היא בגלל הגנים שלו או בגלל שהוא לא אוכל בריא? עד כמה ההשמנה בילד שלי גנטית? גם כאן אי אפשר לתת תשובה קטגורית. אצל ילדים מסוימים עיקר הסיבה היא גנטית, ואצל ילדים אחרים לא"

20,000 גנים = מגוון אינסופי של תכונות

דימוי: Visual Photos

לו קפץ לביקור קצר, היה דרווין נפעם לגלות ש־150 שנה אחרי מוצא המינים, ניתן להצביע על המנגנון והאופן שבו מועברות התכונות ומשתנות מדור לדור. הביולוגיה המולקולרית המודרנית מספקת לתורת האבולוציה הדרווינית את האישור החזק ביותר לנכונותה. ראיון עם אריאל דרדבסי, ראש החוג לגנטיקה במכון למדעי החיים באוניברסיטה העברית

■ בדיוק לפני מאה שנה, בשנת 1909, הציע הבוטניקאי הדני, ווילהלם ג'ונסיין (Wilhelm Johanssen), את המונח "גן" ליחידת המידע הבסיסית שנושאת את המידע הגנטי ומועברת בתורשה מדור לדור. ג'ונסיין, שלא ידע עדיין דבר על מהות הגנים ואופן פעולתם, העניק שם קליט לאותו חומר מסתורי העובר בתורשה וקובע את תכונות הפרט.

חמישים שנה מאוחר יותר פיצחו ווטסון וקריק את הקוד הגנטי והסבירו את מבנה המערכת הגנטית וה־DNA. חלפו עוד חמישים שנה ובעקבות עבודה מאומצת שנעשתה בעשרים השנים האחרונות, יש בידינו רצף מלא ומפוענח של הגן האנושי. לכאורה, מפתח האמור לתת לנו את כל מה שצריך כדי להבין את ההתנהגות האנושית ואת מכלול התכונות והפעולות המגדירות אדם. אולם רק לכאורה. המציאות מתברר מורכבת הרבה יותר.

>> פרופסור אריאל דרבסי, כמו אלפי גנטיקאים בעולם, מרגיש כי המחקר הגנטי רחב ופתוח מתמיד. היקף הנתונים החדשים הנמצא בידי החוקרים עצום. נתונים שרק לפני שני עשורים היו רחוקים מהישג ידינו הפכו לזמינים. יכולות המיחשוב והטכנולוגיה מאפשרות להציע ולקיים אינספור ניסויים חדשים, להעלות השערות לבדיקה ולכוון למגוון כיווני מחקר חדשים. מדע הגנטיקה פורח, מתפצל לתחומים ולתת־תחומים, כאשר בכל מחקר מגיעים מדי יום לתוצאות שמשפרות את בריאותנו ומרחיבות את הבנתנו על מהות החיים והתפתחותם.

150 שנה למוצא המינים. דרווין לא ידע אז דבר על גנטיקה. הוא פיתח את תיאוריית האבולוציה שלו על סמך הערכה כי יש מנגנונים המעבירים תכונות בתורשה. עד כמה מתאימה התיאוריה שלו למציאות הגנטית המוכרת לנו היום?

ככלל, אין ספק בעולם המדעי לגבי אמיתותה של תיאוריית האבולוציה כפי שהגה אותה דרווין. לכן אין מדברים היום על תיאוריית האבולוציה, אלא על תורת האבולוציה. ההתקדמות העצומה בגנטיקה, מאז ועד היום, רק מאוששת ומחזקת את עקרונות התורה שאותה הציג דרווין. נכון, יש המון ניואנסים בתורת האבולוציה, יש עדיין נקודות פתוחות, יש שאלות שלהן תשובה חלקית או אפילו שאלות שעדיין אין עליהן תשובה כלל. ישנם גם חילוקי דעות בריאים. אבל העיקרון האבולוציוני של שינויים מקריים בחומר התורשתי המועברים בתורשה ונבררים באמצעות ברירה טבעית שבה שורדים הפרטים המותאמים ביותר לסביבתם – תהליך זה מוכח באינספור ניסויים. אנחנו מוצאים הוכחות ברורות לאבולוציה באוכלוסיות של חיידקים המשתנים ומגיבים לתרופות, בצמחים ובעלי חיים שמותאמים לסביבתם, וגם בבדיקת החומר הגנטי המשותף לכל האורגניזמים החיים, ה־DNA. דרווין נתן לנו את העיקר – תיאוריה פשוטה ומובנת שדווקא בגלל פשטותה מדהים לראות את עוצמתה. כולנו מבינים היום שאבולוציה היא הכוח העיקרי שמניע (ובעיקר הניע) את החיים על פני כדור הארץ.

תן לנו הסבר על האופן שבו פועלת המערכת הגנטית, ומה אנו יודעים עליה היום.

החומר התורשתי הוא ה־DNA. ה־DNA הינה מולקולה בצורת שרשרת המורכבת מחוליות. כל חוליה בשרשרת מופיעה באחת מארבע צורות בלבד ומכנים צורות אלו באותיות A, C, G ו־T. שרשרת ה־DNA באדם מכילה כשלושה מיליארד אותיות. זהו גנום האדם. רצף האותיות מהווה את הקוד הגנטי שלנו, או אם תרצו – את ספר הוראות ההפעלה שעל־פיו נבנה ופועל גוף האדם. בשנים האחרונות הצלחנו לקרוא רצף זה לכל אורכו ולזהות את מרבית (אם לא כל) הגנים שבגנום.

עיקר האינפורמציה נמצא בחלקים של ה־DNA שנקראים גנים. הגנים מהווים חלק קטן מה־DNA, אחוזים בודדים בלבד. שאר ה־DNA נקרא

> **”נכון, יש המון ניואנסים בתורת האבולוציה, יש עדיין נקודות פתוחות, יש שאלות שלהן תשובה חלקית או כאלה שאין עליהן תשובה כלל. אבל העיקרון האבולוציוני של שינויים מקריים בחומר התורשתי המועברים בתורשה ונבררים באמצעות ברירה טבעית שבה שורדים הפרטים המותאמים ביותר לסביבתם - תהליך זה מוכח באינספור ניסויים בתחום הגנטי”**

בעבר ”DNA זבל”, כיוון שתפקידו של DNA זה, אם קיים, עדיין לא ידוע ברובו או לא מובן לנו. לעומת זאת, על הגנים ודרך פעולתם אנחנו יודעים די הרבה. כל גן מקודד לחלבון. המודל הראשוני של פעולת גנים דיבר על כך שכל גן יוצר חלבון ולכל חלבון יש תפקיד מוגדר. כלומר, שכל גן אחראי על פעולה או תכונה מסוימת.

עד העשור האחרון האמינו שבגנום האדם יש כמאה־אלף גנים. היום ידוע שבגנום האדם יש רק כ־20 אלף גנים, אך דרך פעולתם מורכבת הרבה יותר משהעריכו בעבר. ראשית, כל גן יכול לייצר מספר וריאציות לכל חלבון. שנית, לכל חלבון יכולים להיות מספר תפקידים כולל אינטראקציות מגוונות עם חלבונים אחרים, כך שלמעשה 20 אלף הגנים יכולים ליצור מגוון אינסופי של תכונות.

חשוב להבין שכל הגנים נמצאים בכל התאים בגופנו, אך בכל תא פעילה קבוצה שונה של גנים וכך יכול כל תא לבצע את תפקידו הספציפי. למשל, תא מוח ותא עור מכילים בדיוק את אותם גנים, אך קבוצה שונה של גנים פעילה במוח וברקמת העור.

כיום ידוע רצף הגנום האנושי כולו וגם ידוע היכן נמצאים הגנים, ולרוב גם ידוע איזה סוג חלבון או חלבונים הם מייצרים. תפקידו של כל חלבון ידוע באופן חלקי בלבד וכמובן שישנם גנים שיודעים עליהם הרבה וכאלה שמעט.

אותם גנים ממש קיימים ופועלים אצל כל בעלי החיים? כלומר, פענוח הגנום האנושי מאפשר לנו להבין את הגנים אצל כל בעלי החיים ולהבין אם אנו באים ממקור אחד?

ישנה חפיפה רבה בין גנים ביצורים שונים. ככל שהמינים קרובים יותר, כך החפיפה גדולה יותר. למשל הדמיון הגנטי בין אדם לשימפנזה (המין הקרוב אלינו ביותר) הוא 98.6 אחוז. השוני בין המינים אינו בכך שלשני המינים יש גנים שונים, אלא שבאותם גנים יש שינויים. לכל קבוצת

פרופ' דרבסי: ”חופש הבחירה שלנו קטן ביותר” | צילום: אנטולי מיכאלו

היונקים למשל, יש חפיפה כמעט מלאה במספר ובסוג הגנים, אך שינויים שנוצרו בתוך אותם גנים הם אלה שגורמים למינים להיות שונים. ככל שהמינים מתרחקים זה מזה, ההבדלים ניכרים לא רק בתוך אותם גנים, אלא ברמת הגנום כולו.

”פענוח הגנום האנושי” הוא מושג פופולרי. אנחנו יודעים את רצף הגנום האנושי, אך ידע זה קיים גם לגבי מינים רבים אחרים, כגון עכבר, תרנגול, שמרים, חיידקים וכו'. הדמיון הגנטי בין היצורים מאפשר לנו לקבוע את הקרבה ביניהם ואת הזמן בו לשני המינים היה אב משותף. ניתן להעריך למשל, שלאדם ולשימפנזה היה אב משותף לפני כחמישה מיליוני שנים.

מה קורה בתהליך ההעתקה של הגן מדור לדור? איך נוצרו השינויים שגרמו להשתנות והתפצלות המינים?

השינויים שחלים ב־DNA הם בסיס האבולוציה. שינויים מקריים נוצרים ב־DNA כל הזמן. לעיתים רחוקות משפר שינוי כזה את היכולת של אותו פרט להעמיד צאצאים בתנאי סביבה נתונים. לכן, בדור הבא יהיה מספר הפרטים שנושאים את השינוי החדש (מוטציה) רב יותר. אם השינוי משפר את יכולת הפרט להעמיד צאצאים, הרי שכעבור מספר דורות ישאו כל הפרטים שינוי כזה. אלה שלא ישאו אותו פשוט יכחדו.

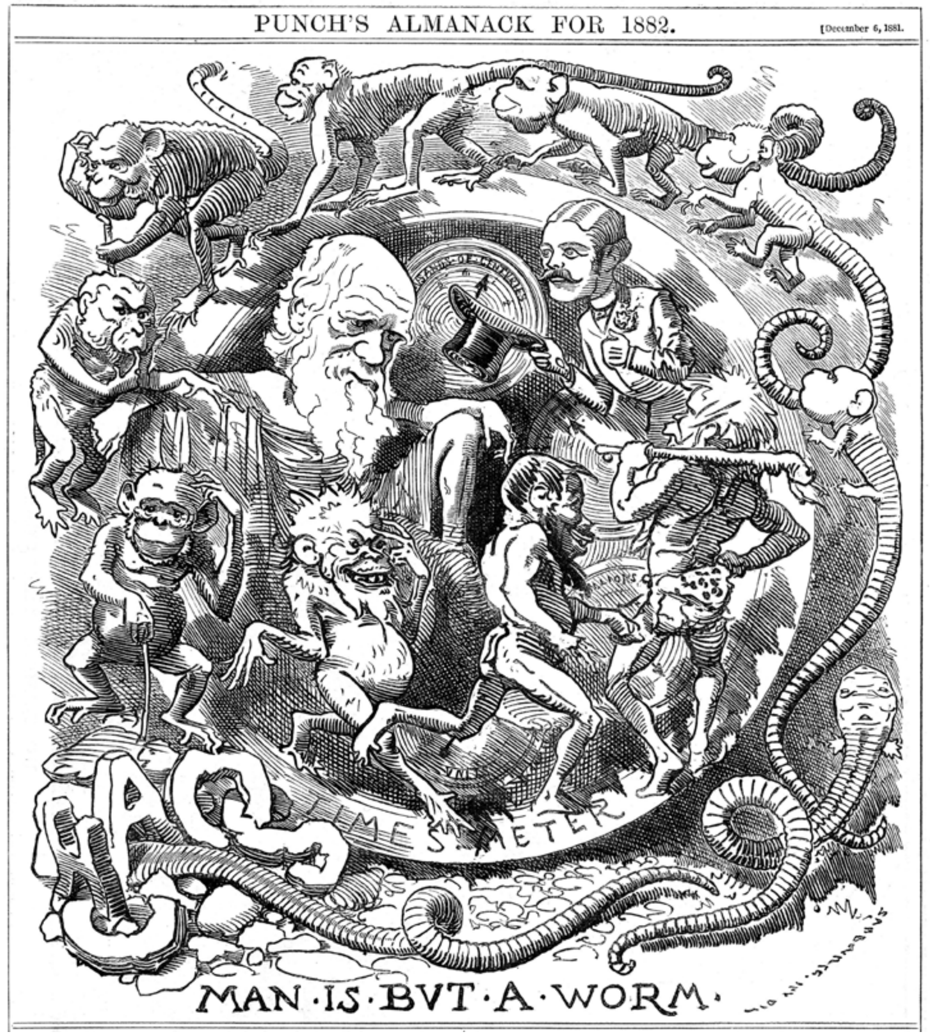
יתכן מצב שבו הפרטים שרכשו מוטציה חדשה יצברו מוטציות נוספות, ואלה שלא נושאים את המוטציה החדשה לא יכחדו ויצברו גם הם מוטציות נוספות, אך שונות. בתנאים מסוימים שתי קבוצות אלו יתפתחו לשני מינים שונים.

אחרי ההצלחה הגדולה בפענוח הרצף הגנטי נדמה היום שהגנטיקאים מבינים כמעט הכל?

האמת היא שגם לאחר הבנת הרצף עדיין ידוע לנו מעט מאוד. נכון, אנו יודעים את רצף הגנום של האדם ושל מינים אחרים ואנו מכירים את מרבית הגנים ובמידה מסוימת את תפקידם. איך כל זה הופך שני אנשים, אתה ואני, ליצורים חיים עם מורכבות שמאפשרת לנו לקיים את השיחה הזאת? כאן, רב הנסתר על הגלוי. כיצד בדיוק פועלים אותם גנים? איך הגנים יצרו את מוחנו ואיך מוחנו עובד? אפילו שאלות פשוטות יותר כגון פעולות בסיסיות בתא אנו לא מבינים באופן מלא. מאוד הייתי רוצה לתת לך תשובה אחרת. אומנם ”פיצחנו” את הגנום האנושי, אך הדרך לפיצוח סוד החיים, במלוא מורכבותו והדרו, עוד ארוכה מאוד. אני מאמין שבסופו של דבר בהרבה צעדים קטנים נגיע לכך, אך איני יודע להעריך אם הדבר ייקח אלף שנים או מאה־אלף שנים.

לשמחתי, לצעדים הקטנים אותם אנו עושים בדרך יש משמעות מעשית גדולה. ראשית, המדע נבנה צעד אחר צעד ואם הצעד הראשון לא נעשה, לא נוכל לעשות את הצעד הבא. אפילו בפרספקטיבה של דור אחד אנחנו רואים התקדמות מדהימה, שכבר מיתרגמת לשיפור משמעותי באיכות חיינו. יש לכך אינסוף דוגמאות. בגנטיקה למשל, ניתן לציין את היכולת שלנו לבדוק עוברים בשלב מוקדם מאוד ולבצע הפלה במקרה שהעובר לוקה במחלה קשה. לפני עשור או שניים בדיקה כזאת היתה קיימת רק לגבי תסמונת דאון. כיום ניתן לבדוק ולשלול עשרות מחלות.

בנוסף, אנחנו לומדים דברים מעניינים ומספקים את סקרנותנו. גם >>



"האדם אינו אלא תולעת", נכתב באיור משנת 1882 |
דימוי: Visual Photos

>> לכך יש משמעות, גם אם היא לא פרקטית. אם נחקור או נתקדם רק בכיוונים בהם אנו רואים תועלת ברורה ומיידית, נגביל מאוד את הישגינו. אם קולומבוס היה נוסע להודו בדרך המוכרת, הוא לא היה מגלה את אמריקה.

מי קובע, הגנים או הסביבה? תחום שלם של סוציו־ביולוגיה התפתח סביב השאלה הזו, ולמעשה יש בבסיסה הנחה דטרמיניסטית – משהו גורם לנו להתנהג כפי שאנו מתנהגים. האם יש תשובה נכונה לשאלה הזו – גן או סביבה?

שאלה זו היתה במשך שנים רבות במרכזה של מחלוקת. חלק מהמחלוקות נבעו מהשאלה עצמה, שהתבססה על ההנחה שניתן לומר לגבי כל תכונה מי קובע, הגנים או הסביבה. האמת המוסכמת כיום על רוב אנשי המדע היא שברוב המקרים לא הגנים קובעים ולא הסביבה, אלא הסביבה והגנים יחדיו משפיעים על מרבית התכונות.

אני מרשה לעצמי היסחפות פילוסופית בנקודה הזו. לכל שאלה אנחנו תמיד מחפשים תשובות ברורות: כן, לא, שחור, לבן. הדבר נובע ממבנה המוח שלנו. הרצון לתשובה פשוטה הוא תכונה גנטית שקיימת בנו מסיבות אבולוציוניות. אין זה יעיל (מבחינה הישרדותית) לנתח כל סיטואציה. הרבה יותר אפקטיבי לפעול על־פי תבניות פשוטות וברורות. למשל, אם אתה רואה אריה – תברח. אם אתה רואה אוכל – תאכל. לפני אלפי ומיליוני שנים, למי שלא היה את התכונה הזאת, פשוט לא שרד. יחד עם זאת, יש לנו מספיק שכל (גם הוא קיים מסיבות אבולוציוניות) שמאפשר לנו להבין שהמוח נוטה לתשובות פשוטות, אך גם מאפשר לנו לבחור מתי להיכנע לנטייה זו ומתי לא. התשובה לשאלה אינה סביבה או גנים. כמו ברוב הנושאים, גם כאן התשובה מורכבת.

אנשים חיפשו תשובה פשטנית שקל להבין. לכן כשברור היה שגם גנים וגם סביבה משפיעים, השאלה הפכה ל"מי משפיע יותר?", או "כמה כל אחד משפיע?". גם בשאלות אלו יש בעיה, מכיוון שהשפעת הגנטיקה והסביבה על תכונה מסוימת אינה פשוטה לכימות. למשל, גובהו של אדם נקבע על־ידי הגנים והסביבה (תזונה, פעילות גופנית וכו'), אך כיצד ניתן לכמת את התרומה היחסית של כל מרכיב? האם ניתן לומר לגבי אדם שגובהו 180 סנטימטרים ש־100 סנטימטרים הם מהגנים ו־80 סנטימטרים מהסביבה? ודאי שלא. הדרך בה אנחנו מכמתים את התרומה היחסית היא מעט מורכבת. ראשית, יש להגדיר מונח אחר: "שונות" התכונה באוכלוסיה. מבלי להיכנס להגדרות סטטיסטיות, שונות התכונה באוכלוסיה מכמתת עד כמה הפרטים באותה אוכלוסיה שונים ביניהם בתכונה מסוימת. מכאן, שלאחוז של אותה שונות שניתן להסביר בעזרת הגנים, קוראים "תורשתיות". מושג זה מתאר באופן מסוים עד כמה מושפעת התכונה מהגנים.

באמצעות בדיקת השונות בין תאומים זהים לתאומים לא זהים ניתן לאמוד את התורשתיות של תכונה מסוימת. ההבדל בין שתי הקבוצות הוא שבאחת הדמיון הגנטי הוא מאה אחוז (תאומים זהים) ובקבוצה השנייה – חמישים אחוז (תאומים לא זהים). לכן, הירידה בשונות בין הקבוצה השנייה לראשונה מיוחסת לעלייה בדמיון הגנטי בלבד. חשוב להבין את משמעות ומוגבלויות התורשתיות. באופן גס ניתן לומר שמספר זה מכמת את תרומת הגנים (באחוזים) לתכונה מסוימת באוכלוסיה מסוימת. למשל, התורשתיות של אינטליגנציה מוערכת בין 50 ל־80 אחוז. אחת הסיבות שהטווח כה רחב נובעת ממהות התורשתיות. התורשתיות יכולה להיות שונה מאוד בין אוכלוסיות. למשל, בדקו את התורשתיות של השמנה באיטליה ובסין. באיטליה נמצאה תורשתיות של 40 אחוז ואילו בסין 80 אחוז. הסיבה לכך היא שבסין השונות הסביבתית יחסית נמוכה ולכן אם כבר רואים שונות, היא בעיקר נובעת מגנטיקה ולא מסביבה. לעומת זאת, באיטליה קיימת שונות סביבתית גדולה (מגוון רחב של מאכלים והרגלי אכילה באוכלוסיה) ולכן תורשתיות התכונה נמוכה.

באוכלוסיות שונות יכולה התורשתיות של אותה תכונה להיות שונה מאוד. הדבר מורכב עוד יותר אם נסתכל ברמת הפרט. האם השמנה אצל הילד שלי היא בגלל הגנים שלו או בגלל שהוא לא אוכל בריא? עד כמה ההשמנה בילד שלי גנטית? גם כאן אי אפשר לתת תשובה קטגורית. אצל ילדים מסוימים עיקר הסיבה היא גנטית, ואצל ילדים אחרים לא.

לכן הרצון שלנו לקטלג תכונות ל"תכונות גנטיות" ו"תכונות לא גנטיות" אינו ניתן לסיפוק, לא ברמה הכללית ולא ברמה הפרטית. אנחנו יכולים רק להגיד שבממוצע באוכלוסיה מסוימת התורשתיות היא כזאת או אחרת, וזה כמובן לא יעיד הרבה לגבי פרט מסוים.

אם התנהגותנו נקבעת על־ידי הגנים ועל־ידי השפעות סביבתיות, מה אומר הגנטיקאי על הבחירה החופשית? על הרצון החופשי?

זו שאלה פילוסופית, ודעתי כאן אינה מבוססת על הידע הגנטי שיש לי. ברמה העקרונית צריך לשאול האם העולם דטרמיניסטי? שאלה שמעניינת אותי יותר היא חופש הבחירה ברמה היותר־אינטואיטיבית והמודעת של כל פרט. במודעות שלנו אנו חשים שיש לנו חופש בחירה מלא. אנחנו יכולים בכל רגע נתון להחליט לקפוץ מבניין גבוה ואנחנו מחליטים לא לעשות זאת.

לדעתי, במידה רבה התחושה שיש לנו חופש בחירה היא אשליה. גם אשליה זו מוטבעת בנו מסיבות אבולוציוניות. אנחנו די מתוכנתים גם ברמה ההתנהגות שלנו. ברור שהתנהגותנו חשובה ביותר להישרדות. לכן אין זה סביר שהאבולוציה לא עיצבה בתהליך ארוך את נטיותינו ההתנהגותיות. להיפך, סביר שההתנהגות שלנו מעוצבת עד לרמה של ניואנסים דקיקים. זה לא מקרי שאנחנו "מחליטים" לא לקפוץ מבניין גבוה, וכך גם לגבי התנהגויות פחות קיצוניות כמו לקנות טלפון נייד חדש כל שנה, להתמכר לצפייה ב"האח הגדול" או לקנות פרחים לאהובתנו. הנטיות ההתנהגותיות הבסיסיות מעוצבות בגנים. הסביבה (חינוך, חוויות חיים וכו') מעצבת תכונות בסיסיות אלו, ובסופו של דבר, חופש הבחירה שיש לנו הוא קטן ביותר. הוא בוודאי יותר קטן ממה שנדמה לנו. יחד עם זאת, מידת חופש הבחירה היא דבר יחסי. במבט חיצוני אובייקטיבי עד כמה שדבר כזה בכלל ניתן, חופש הבחירה שלנו מצומצם ביותר. אבל באותו טווח, שהוא לדעתי קטן ביותר, שבו יש לנו חופש בחירה, החופש הוא אכן מלא.

אנו מסתכלים על הגנום האנושי המורכב ועל מעמדנו ב"עץ החיים" וחושבים שאנו שיאה של האבולוציה. אנחנו אכן הטובים ביותר?

כדי להתייחס לשאלה זו יש להגדיר מה זה "טובים ביותר". בהקשר האבולוציוני, ההגדרות ברורות ולאו דווקא תואמות את הגדרותינו בחיי היומיום. על־פי האבולוציה – טוב יותר הוא זה שמעמיד יותר צאצאים פוריים. לפי קנה־מידה זה, המין האנושי הוא מוצלח מאוד. קצב הגידול שלו על פני כדור הארץ גבוה מאוד כבר הרבה שנים. אבל יש יצורים אחרים, טובים לא פחות. חיידקים וחרקים למשל, הם בעלי יכולת שרידות טובה מאוד ובתנאים מסוימים אפילו יותר טובה מזו של האדם. ברשימת בעלי החיים בסכנת הכחדה המין האנושי לא נמצא כרגע במקום גבוה. אבל הוא גם לא נמצא בתחתית הרשימה. אנו יצורים מורכבים, אבל מנקודת מבט אבולוציונית מורכבות אינה בהכרח תורמת להישרדות. מבחינה אבולוציונית, ההגדרה פשוטה: מי ששורד הוא טוב, ורק הטוב שורד. ■

יעל נופר-שורץ / צילומים בגלאפגוס: יעל נופר-שורץ

"HMS BEAGLE" בדרך לאיי הגלאפגוס

חמש שנים של מסע על סיפון ה"ביגל" הפכו את צ'ארלס דרווין לגדול חוקרי הטבע במאה ה־19. חמישה שבועות באיי הגלאפגוס נתנו לו את המפתח לתאוריית מוצא המינים והתפתחותם. הצלמת יעל נופר-שורץ בעקבות דרווין וה"ביגל" במסע לגלאפגוס

ה"ביגל" במפרץ בטיירה דל פואגו (ארץ האש) מצוירת על־ידי צייר ה"ביגל", קונרד מרטנס | תמונה: ויקישיתוף

■ אוקטובר 1805. הצי הבריטי נכנס לקרב גורלי מול כוח משולב של צי צרפת וספרד. המצביא, אדמירל נלסון נהרג, אך הבריטים ניצחו ובלמו את ניסיון הפלישה לבריטניה. קרב טרפלגר הבטיח את שליטת צי הוד מלכותו על נתיבי הימים.

בעידן של שלום השתנו תפקידי הצי. עכשיו הוטלו על מפקדיו משימות מסוג אחר. העיקרית שבהן – להבטיח ולקדם את אפשרויות הסחר ברחבי האימפריה ומעבר לה. לשם כך היה צורך למגר את הפיראטים, לעודד את סחר העבדים, לקבוע נתיבי שייט באוקיינוסים וליצור מפות מדויקות של החופים והנמלים מסביב לעולם. המפות הקיימות היו באיכות בינונית והכילו אי־דיוקים רבים. רוב חופי דרום־אמריקה טרם מופו והבריטים שרצו ליהנות מאוצרות הטבע שדרום־אמריקה יכלה להציע, הבינו שיש צורך דחוף במיפוי האזור.

ההידרוגרף של הצי המלכותי הבריטי ייסד את "חיל קציני המחקר", קבוצה של קצינים מוכשרים בעלי ידע במדע ובמתמטיקה, שעליהם הוטל הפרויקט הלאומי – מיפוי יבשות בלתי מוכרות. לצורך המשימה נבנו

סרטן הלבה האדומה. בגלאפגוס יותר ממאה מינים של סרטנים. הנפוץ ביותר הוא סרטן הלבה האדומה. סרטן קצר בטן שחלק גופו העליון – ראש חזה אדום וחלק גופו התחתון – הבטן כחולה. הצעירים בני מין זה צבעם שחור והם רצים מהר יותר מהבוגרים. הם ניזונים מאצות ורקב. רגישים מאוד לתנועה סביבם וקשה להתקרב אליהם. הם מהווים טרף לאנפות, צלופחים ודגים ממשפחת הריסנפיריים

אריות הים. חיים במושבות. כל מושבה מורכבת מזכר שליט שמשקלו יכול להגיע עד 250 ק"ג וממספר נקבות (עד 30). הזכר השליט שולט ברצועת חוף עליה שוכבות הנקבות ומשתזפות בשמש. את יומו הוא מבלה בשחייה מגבול אחד של הטריטוריה עד לגבול השני. אם זכר בוגר אחר ינסה להשתלט על שטחו הוא יילחם בו בחירוף נפש וינשך את צוואר היריב! הריון נקבות אריות הים נמשך תשעה חודשים והן ממליטות צאצא אחד. כשנקבת אריות הים רוצה לצאת לדיג היא משאירה את הצאצא אצל ה"גננת", נקבה בוגרת ששומרת על מספר צעירים

שש ספינות מסוג "צ'ירוקי" לשירות המחקר. אחת מהן היתה אוניית הוד מלכותו, ה"ביגל" (HMS Beagle).

ה"ביגל" נבנתה במספנות וולוויץ' והפליגה לראשונה במאי 1820. זו היתה ספינה באורך של 27.5 מטרים ובנפח 242 טון, בעלת שלושה תרנים. כספינת מלחמה נשאה עשרה תותחים, כספינת מחקר רק שישה. היא נקראה על שם זן הכלבים "ביגל" והשתתפה בשלושה מסעות מחקר. המסע השני הוא המפורסם שבהם, ובזכותו זכורה ה"ביגל" עד ימינו אלה.

קפטן רוברט פיצרוי, בן ה־26 מונה לפקד על ה"ביגל" במסעה השני. מסע ימי במאה ה־19 לא היה מסע תענוגות. חודשים ארוכים בים, ללא מזון טרי ותוך התמודדות עם קשיי הטבע, מחלות ובדידות. מפקד ה"ביגל" במסעה הראשון התאבד במהלך המסע כתוצאה מדיכאון קשה.

קפטן פיצרוי שהפך נוצרי אדוק הצטרף בערוב ימיו בפומבי למתנגדי תאוריית האבולוציה של דרווין. בסופו של דבר גם הוא סיים את חייו בהתאבדות בגיל 60 בשל דיכאון מתמשך

גם דודו של פיצרוי התאבד בנסיבות דומות. פיצרוי ידע שחשוב לצוות למסע אדם ממעמד חברתי הולם, שאיתו יוכל לשוחח ולהתייעץ. מטרות המסע היו מיפוי דרום־אמריקה ורישום מדידות לחץ האוויר סביב העולם. במסע ה"ביגל" הראשון בארץ האש בשנת 1830 גילה פיצרוי שינויים במצפן שלו והניח שיש בהרים עפרות ברזל או מתכות, אבל בצוות האונייה לא היה מדען שהבין בגיאולוגיה.

כשמונה למפקד ה"ביגל" במסע השני בשנת 1831 ביקש מקפטן פרנסיס ביופורט, ההידרוגרף של הצי והאחראי על המיפויים הימיים, לצרף מדען לצוות כדי שיערוך בדיקות וחקירות ביבשה בשעה שהוא וקציניו יעסקו במיפוי ימי. דרווין, שקיבל את ההצעה בשלב של התלבטות אישית בחייו התלהב מהרעיון, התגבר על התנגדות אביו, עבר ראיון קבלה אצל קפטן פיצרוי (שכמעט דחה אותו בשל צורת החוטם שלו) והתקבל למסע ששינה את חייו, כמו את פני המדע כולו.

בלי לתכנן מראש קיבל דרווין בגיל 22 את הזדמנות חייו כחוקר. מעטים אנשי המדע

>>

סולה כחולת רגל. ציפור בעלת גוף מאורך, מקור ארוך ורגלים כחולות! הסולה היא דייגת מומחית, צוללת לתוך מי הים במהירות ושולה דגים. הסולה בונה את קינה המוקף בטבעת של לשלשת על האדמה החשופה. הסולה מטילה 3–1 ביצים על האדמה. כשהגוזלים בוקעים מן הביצים , מקבל הגוזל הבכור את מזונו ראשון ולכן הוא גדול וחזק מהם. כשחסר מזון הגוזל הבכור ינסה לסלק את אחיו החוצה. אם הוא מצליח, יתעלמו ההורים מן הגוזל שמעבר לטבעת וישקיעו בגידול הגוזל הבכור

<< בתקופתו שיכלו להיחשף כך למכלול עצום של תופעות טבע, למגוון נופים גיאולוגים ולמאות מינים של בעלי חיים. קיים ויכוח האם המראות והמינים שנתקל בהם במסע הביאו אותו לרעיון האבולוציה באמצעות ברירה טבעית, או שהרעיון צץ במוחו מאוחר יותר ומראות המסע שימשו בדיעבד כהוכחה לתיאוריה. אין ויכוח שחמש שנות מסע ומחקר הפכו אותו עם חזרתו לאחד המדענים המובילים, הן בידע מעשי והן בחשיבה תיאורטית. בזכות ניסיונו במסע יכול היה להשוות בין תופעות גיאולוגיות שונות ובין סוגי צומח ובעלי חיים במקומות שונים בעולם.

מסע ה"ביגל" נמשך ארבע שנים, תשעה חודשים וחמישה ימים. דרווין הגיע לאיי קייפ ורדה, לאמריקה הדרומית, לאיי פוקלנד, לאיי הגלאפגוס, לאי טהיטי, לניו־זילנד, לאוסטרליה, לאיי קוקוס, לדרום־אפריקה, לאי סנט־הלנה, שוב לדרום־אמריקה, לאיים האזוריים וחזרה לאנגליה. חלק גדול מהמסע בילה על היבשה, אסף ותיעד דגימות קרקע, מאובנים, צמחים ובעלי חיים. הוא טפס לראש הקורקובדו בריו דה־ז'נרו, סייר בערוצים של טיירה דל פואגו, יצא ברכיבה עם הגאוצ'וס למרחבי הפמפות של ארגנטינה, צד ריאות - ננדו בפטגוניה, הפיל קונדור בצ'ילה, חצה את האנדים וחווה רעש אדמה בולדיביה ובקונספסיון בצ'ילה .

במכתב מלימה לאחותו קרוליין כתב דרווין כי הוא משתוקק להגיע לאיי הגלאפגוס, כיוון שהוא סבור שגם הגיאולוגיה וגם הזואולוגיה שם עשויות להיות מעניינות. כשהגיע, שייטה ה"ביגל" בין האיים חמישה שבועות בלבד. היו אלה חמשת השבועות המשפיעים ביותר על חייו ומחקריו.

איי הגלאפגוס שוכנים באוקיינוס השקט כ־960 ק"מ ממערב ליבשת דרום־אמריקה, נושקים לקו המשווה וכוללים: 13 איים גדולים, שישה איים בינוניים ויותר מ־40 איים קטנים. קבוצת האיים כולה שייכת לאקוודור, אבל רק חמישה איים מיושבים. האי הגדול ביותר הוא איזבלה, שטחו 4,588 קמ"ר, והוא מורכב משישה הרי געש! אחד מהם, הר הגעש וולף, הוא ההר הגבוה ביותר בקבוצת איי הגלאפגוס ומתנשא לגובה של 1,707 מטר. האיים נוצרו באוקיינוס כ־Hot Spot, תוצאה של התפרצות געשית

"אם באקוודור מדובר על 20 אלף מיני צומח, הרי שבאיי הגלאפגוס יש רק 750 מינים ותתי־מינים ומתוכם מאתיים מיני צומח הובאו על־ידי האדם. 250 מינים הם אנדמיים (צומחים רק בגלאפגוס ולא בשום מקום אחד בעולם). קיימות הערכות שחיים באיים כ־9,000 מינים של בעלי חיים"

איגואנת היבשה, לטאה גדולה שיכולה להגיע לאורך של מטר ולמשקל של 13 ק"ג. אוכלת פירות, צמחים וחרקים ואפילו קקטוס בלי להסיר את הקוצים

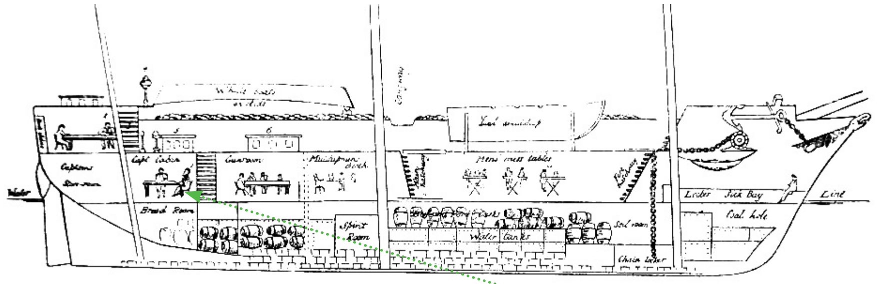
תת־מימית. הצעיר שבאיים הוא פרננדינה בן 700 אלף שנה, ואילו האיים הבוגרים הם בני 3־4.6 מיליון שנה.

אם באקוודור מדובר על 20 אלף מיני צומח, הרי שבאיי הגלאפגוס יש רק 750 מינים ותתי־מינים ומתוכם מאתיים מיני צומח הובאו על־ידי האדם. 250 מינים הם אנדמיים (צומחים רק בגלאפגוס ולא בשום מקום אחר בעולם). קיימות הערכות שחיים באיים כ־9,000 מינים של בעלי חיים.

האקלים בגלאפגוס יבש יחסית בזכות זרמי הים. בזמן שקפטן פיצרוי עסק במיפוי ימי, סייר דרווין באיים. הוא נפעם מההמבנה הגיאולוגי, מהלועות הגעשיים והמאגמים שנוצרו בתוכם, מזמזי הלבה הטריים והוותיקים ומאדמת הלבה השחורה. דרווין חקר את צמחיית האיים, פגש בצבי הענק שאכלו קקטוס, צבי ענק שהיו כל־כך כבדים שבקושי יכול היה להרימם מהקרקע. ביומנו הוא מתאר את מפגשיו עם איגואנות הים ואיגואנות היבשה, ואת תצפיותיו בציפורים. דרווין ומשרתו היו עסוקים באיסוף אינטנסיבי של כל מיני הצמחים ובעלי החיים ובהם חרקים, צדפות, ציפורים וזוחלים בהם נתקלו באיים. את הדגימות שאסף שלח לאנגליה. חלק מהמינים היו חדשים למדע. באיי הגלאפגוס אגב אין בעלי חיים טורפים.

בסך הכל ביקר דרווין בארבעה איים: סן קריסטובל, פלוריאנה, איזבלה וסנטיאגו, אבל דווקא ביקורים אלה היו משמעותיים מאוד. דרווין הבחין שצבי הענק, ששריונם בצורת אוכף, חיים באזורים יבשים יותר, שבהם יש מעט צמחייה שקשה להשיגה ולכן הם נאלצים למתוח את צווארם כדי להגיע למזון. ואכן לצבים אלה היה צוואר ארוך ורגליים ארוכות. לעומתם, היו צבי ענק ששריונם בצורת כיפה וצווארם קצר יותר והללו חיו באזורים לחים וגבוהים יותר, ששם מצויה הצמחייה בשפע. דרווין בחן את מיני הצומח ובעלי החיים שקיימים באיים והבחין שמינים דומים מחליפים זה את זה באיים שונים.

בשובו לאנגליה הציג את מיני הציפורים



שרטוט ה"ביגל". דרווין לן בחדר המפות. חדר המפות היה בגודל 2.7 מ' על 3.3 מ' ובגובה של מטר וחצי. על הקירות היו מדפים, ארונות, תנור ומתקן לרחצה. במרכז החדר עמד שולחן מפות והתורן האחורי עבר דרך רצפת החדר. צפוף. בסה"כ היו 1.80 מטר על 2.40 מטר של חלל לעבודה. דרווין לקח איתו ל"ביגל" מיקרוסקופ, כלי שימור ו־245 ספרים

צבי הענק. משקל הזכרים יכול להגיע עד 250 ק"ג, אורך שריונם עד מטר וחצי והם יכולים לחיות כ־100 שנה ואפילו יותר! צבי הענק ניזונים מצמחים, מקקטוסים ומפירות. הם מסוגלים לחיות במשך תקופות ארוכות בלי לשתות מים היות וברקמותיהם יש שומנים שיכולים להתפרק ולהפוך למים. בעונת הרבייה נעשים הזכרים תוקפניים. הצב הזכר עולה על הגב של הצבה הנקבה ומביא את איבר מינו (זנבו ארוך ב־40 ס"מ מזנב הנקבה) למגע עם איבר מינה. ההזדווגות נמשכת עד שש שעות ובמהלכה משמיעים בני הזוג קולות. התוצאות לא מאחרות לבוא, הצבה מטילה 16–2 ביצים בגודל כדור טניס בגומה שעומקה כ־30 ס"מ

לאורניתולוג, ג'ון גולד, ממוזיאון גן החיות של לונדון. הלה גילה שדרווין טעה בחלק מזיהוי. דרווין זיהה את הפרושים כמינים שונים של ציפורים היות והמקור שלהם היה שונה. גולד העמידו על טעותו, מדובר היה בזנים נפרדים של פרושים. דרווין לא כתב מאיזה אי נלקחו הפרושים. הוא לא חשב שזה חשוב. מאוחר יותר יצר קשר עם חברי צוות ה"ביגל" שאף הם אספו ציפורים, וניסה לברר אם תיעדו מאיזה אי באו הפרטים שלהם. למזלו אכן נרשמו שמות האיים. התברר כי כל זן ציפורים שכן על אי אחר וכך התפתחו וריאציות במין. בידי דרווין הונחה אחת ההוכחות הראשונות לתיאוריית האבולוציה באמצעות הברירה הטבעית. ■

yalilove@walla.com

יעל נופר–שורץ היא צלמת, כתבת ומרצה, מדריכת טיולים בארץ ובחו"ל. סיירה בעקבות דרווין בגלאפגוס. בוגרת הטכניון בביולוגיה.

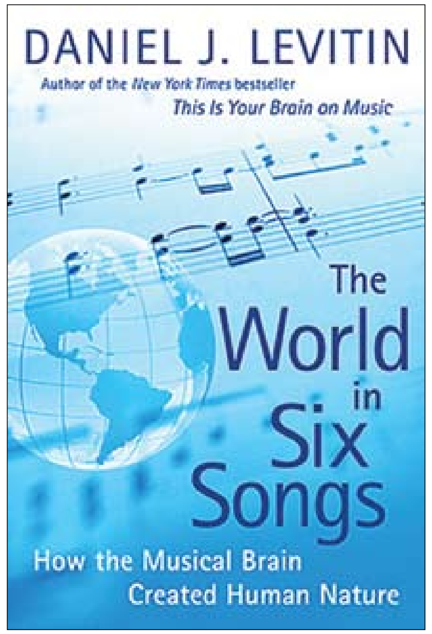
זאב שביידל

סקירת כמה מהדיונים האינטלקטואליים בתחומי האבולוציה שהתפרסמו לאחרונה בכתבי עת ברחבי העולם והפעם:

150 אחרי דרווין, האבולוציה עדיין מרתקת את חוקרי הטבע האנושי. על אבולוציה באולם הקונצרטים / במקדשי הדת / בסצינת הדייטים / ועל ההבדלים שבין שימפנזות ובונובו

עוד חוזר הניגון

A Review of Daniel J. Levitin, The World in Six Songs: How the Musical Brain Created Human Nature / Lincoln G. Craton, Department of Psychology, Stonehill College, Massachusetts, *Evolutionary Psychology*
http://www.epjournal.net/filestore/EP06550554.pdf



במחקר על תופעות אוניברסליות בטבע האנושי המוסיקה היא עדיין בגדר נעלם, שאין להבין לחלוטין את תפקידו האפשרי בהישרדות של המין האנושי.

העיסוק המחקרי בשאלת מוצאה האבולוציוני של המוסיקה גבר בשנים האחרונות, ואף בשנה האחרונה פורסמו מספר ספרים בנושא, ובהם ספרו האחרון של הנוירולוג הנודע אוליבר סאקס, "מוסיקופיליה", וספרו של סטיבן מיטן, "ניאנדרטאלי מזמר" (Singing Neanderthal).

ספר חדש נוסף שדן בנושא הוא "העולם בשישה שירים" (The World in Six Songs), מאת דניאל לויטין, שנסקר בכתב העת המקוון Evolutionary Psychology על־ידי לינקולן ג. קרטון.

לויטין הוא חוקר באוניברסיטת מק'גיל וגם מוסיקאי מקצועי, שפרסם לפני שנתיים ספר על הקשר שבין מוסיקה לנוירולוגיה - (It`s Your Brain on The Music). ללויטין אין ספק שלמוסיקה היה מקום חשוב בהיסטוריה האבולוציונית של המין האנושי, ולטענתו, עיקר תפקידה היה הסתגלותי. בכך הוא חולק על פסיכולוג אבולוציוני מפורסם אחר, הבלשן סטיבן פינקר מהרווארד, שטוען כי המשיכה האנושית למוסיקה היא בסך הכל תוצר לוואי של התפתחות הלשון.

לדעתו של לויטין, המוסיקה ממלאת שישה תפקידים עיקריים בהתפתחות האנושית, ובהתאם לכך ניתן לחלק את כל המוסיקה הקיימת - וספציפית את כל השירים הקיימים - לשישה סוגים: חברות, שמחה, נוחות, ידע, דת ואהבה, כאשר לכל סוג מוצא אבולוציוני אחר מבחינה היסטורית.

קרטון חושב שהפרק המנומק ביותר בספר הוא זה המסביר את תרומתה של המוסיקה לקידום הגיבוש החברתי. בפרק זה לויטין טוען כי המחולות השבטיים והשירה בציבור מאחדים את חברי הקבוצה כנגד האויב המשותף או לקראת משימה קיבוצית אחרת. לעומת זאת, קשה יותר להבין את השירים כגורמי שמחה, והשיח עליהם הוא מעגלי במידה מסוימת. אנחנו מאזינים למוסיקה כזו או אחרת כי היא מעניקה לנו הרגשה טובה ומעודדת אצלנו הפרשה של מוליכים עצביים (נוירוטרנסמיטורים) מסוימים במוח. אך מדוע זה כך? מדוע סוג מסוים של מוסיקה הוא זה שגורם להפרשה הזו? האם ועד כמה ניתן להפריד בין המוסיקה ה"חברתית" למוסיקה ה"דתית" של מחול חסידי, למשל, או של העוגב בכנסייה? או מדוע סוגים מסוימים של מוסיקה (למשל, הבי־מטאל או ראפ) מדברים אל אנשים מסוימים, אבל בקרב אחרים הם מעוררים חוסר נוחות? על כל אלה אין בינתיים תשובות, אבל המחקר על תפקידה האבולוציוני של המוסיקה הוא עדיין רק בתחילתו.

אמונה בעזרת דרווין

What Happens to Religion When It Is Biologized? / Nathan Schneider, *Science and Spirit- nov 2008*
www.searchmagazine.org/Archives/Back%20Issues/May-June%202008/full-bioreligion.html

דת נחשבה מאז ומעולם לאויבת התפיסות האבולוציוניות, שכן הטקסטים של כתבי הקודש לא ממש מתיישבים עם תיאוריית האבולוציה. לכן מעניין לגלות, כי בתחילת המאה ה־21 גם האתאיסטים וגם המאמינים חותרים להבנה חדשה של הדת כמסגרת רוחנית שאינה סותרת את האבולוציה. ספר המנתח מזווית אתאיסטית את התפתחות הדת הוא "Breaking The Spell" של הפילוסוף דניאל דנט. דנט רואה בהתפתחות הדת תוצר לוואי של צרכים אנושיים שונים, כמו הצורך להסביר את העולם. מהעבר השני, פרנסיס קולינס, חוקר אבולוציה וראש פרויקט גנום האדם בארה"ב, שהוא גם נוצרי מאמין ש"חזר בתשובה" בגיל מבוגר, מקדיש אף הוא ספר להבנת האבולוציה של הדת, ובו הוא מתאר את התפיסה הנוצרית בצורה שאינה סותרת את הידע האבולוציוני.

מאמרו של נתן שניידר בפרויקט המקוון "Science and Spirit" עוסק במאמץ הביולוגי לפצח את חידת התודעה הדתית. בין היתר, הוא מספר על התחום המתפתח של נוירו־תיאולוגיה. המפורסם שבחוקרי התחום הוא אנדרו נויברג מאוניברסיטת פנסילבניה. בניסויים שערך נויברג הוא עקב אחר נזירים בודהיסטים שעשו מדיטציה ונזירות פרנציסקניות שהתפללו, וגילה כי בזמן זה מתרחשים במוח תהליכים דומים. אלה כוללים, בין היתר, הגברה של הפעילות בהמיספירה הימנית של המוח.

רעיונות דומים במקצת משמיע הגנטיקאי דין האמר מאוניברסיטת סן־דייגו. האמר, שהיה שותף בצוותים שפענחו רצפים גנטיים הקשורים למספר תכונות אישיות, כמו נטייה לחרדה ונטייה מינית של גברים, הוציא לאור ספר בשם "הגן האלוקי". בספרו הוא טוען, כי אנשים נושאים תכונה מסוימת הנקראת "טרנסדנציה עצמית" (Self Transcendence). לדבריו, התכונה הזו קשורה לרצף גנטי מסוים (VMAT2) וקשורה למה שמקובל לכנות "דתיות". תפקידה האבולוציוני מתבטא בכך שהיכולת האנושית לחרוג מעבר לחוויה העצמית - קרי, הטרנסדנציה העצמית - משפרת את הבריאות הנפשית ואת ההרגשה האישית של חלק מהאנשים. אותנו יעניין לדעת הסברו של האמר לאחוז הנמוך ביותר של נישואי תערובת בקרב היהודים. הסיבה לכך, לדבריו, היא המאמץ ההיסטורי לשמר את ה"גנטיקה הדתית" של היהודים על־ידי נישואין בתוך הקבוצה.

רוב האנשים מתייחסים לתגליות של נויברג ושל האמר בהתאם לתפיסות הקודמות שלהם: המאמינים טוענים בהתלהבות, כי האל בחוכמתו הטביע בבני האדם תכונות ושאיפות ואף אמצעי עזר נוירו־פסיכולוגיים כדי לתקשר איתו, בעוד שהאתאיסטים יגידו כי המאמינים, בטיפשותם, לוקחים תופעת לוואי אבולוציונית שאינה ברורה די צורכה, ומייחסים לה תפקיד מכוון. או, במילים אחרות, שה"גן האלוקי" עדיין אינו אלוקים.

מחילה פרימיטיבית?

When Monkeys Make Up – Chimps are from Mars, bonobos are from Venus / An interview with Robert Sapolsky- Primate's Memoir: A Neuroscientist's Unconventional Life Among the Baboons
In character - 2008
http://www.incharacter.org/article.php?article=121

הרבעון "in character" עוסק בגיליונו החדש במחילה, ובמסגרת זו נערך ראיון עם הפרימטולוג (חוקר קופי אדם) והביולוג רוברט ספולסקי מאוניברסיטת סטנפורד. בביוגרפיה שספולסקי פרסם באחרונה, הוא מתאר בהרחבה את עבודתו במשך שלושה עשורים עם סוגים שונים של קופים, ובעיקר עם בבונים ושימפנזות. לדבריו, לקופים יש יכולת להשלים ביניהם.

בגיליון "אודיסאה" הקודם כבר הזכרתי את התפיסה המקובלת בקרב פסיכולוגים אבולוציוניים, כי השורד לפי דרווין הוא הכשיר ולאו דווקא החזק, ולכן מבחינה אבולוציונית חשוב לפתח את התקשורת עם הזולת לצורך תפקוד חברתי יעיל. ספולסקי מציין כי פעמים רבות הוא ראה את הבבונים, ובמיוחד את נקבות הבבון, משלימים ביניהם לאחר ריב אלים, ואף מחבקים אחד את השני. כנראה שהגיבוש של השבט נפגע עקב מריבות רבות מדי.

<<

<<
לספולסקי יש הפתעה נוספת בנושא, הקשורה לקופי אדם מיוחדים, שלא היו מוכרים לחוקרים עד לאחרונה, קופי בונובו או השימפנזה הגמדי. בניגוד לשימפנזות רגילות, שהן תוקפניות ביותר ומסוגלות להכות באכזריות, לרצוח ואף לאכול את הזכרים המתחרים, בונובו הם "אנשי שלום". הסכסוכים ביניהם נפתרים בצורה פשוטה: בכל פעם שנוצר מתח או שקיימת תחרות על משאב, כמו אוכל או נקבה, הם מזדווגים. הסקס נעשה בכל הצורות, בכל הווריאציות, בין כל המינים ובכל הרכב מספרי אפשרי. הדבר מוריד את התוקפנות הכללית ומסייע להישרדות המין.

היבט אחר לערך ההישרדותי של המחילה וההשלמה הוא העובדה, שנקבות הבבונים מרבות יותר להתפייס מהזכרים. ממצא זה מוסבר בעובדה, שזכרים נוטים לנדוד בין להקה אחת לשנייה לעתים קרובות, בעוד שהנקבות נשארות לרוב באותה להקה למשך כל חייהן. היחסים עם השותפות שלהן לדרך חשובים להן, לפיכך, הרבה יותר, והן מעוניינות לשמור עליהם גם אם הדבר כרוך במאמץ ההתפייסות.

רייטינג דרוויניסטי

Love in the Time of Darwinism /
By Kay S. Hymowitz, *City Journal - Autumn 2008*
http://www.city-journal.org/2008/18_4_darwinist_dating.html

נראה כי יישום תיאוריית הברירה הטבעית של דרווין בשוק הדייטים עלול להיות בעייתי. מאמרה של הפסיכולוגית קיי חיימוביץ' במגזין השמרני "City Journal" מתאר את סצינת הדייטים העכשווית בקרב בני המעמד הבינוני-גבוה בארה"ב. הגברים, שנאלצים להתמודד בשנים האחרונות עם העובדה

שהנשים שוות להם, חשים שלא די בכך שאין הם יותר המין החזק, אלא שהם אף עלולים להיות מנוצלים לרעה.

חיימוביץ' טוענת שרבים מהגברים הצעירים בארה"ב נחשפו בילדותם לגירושין של הוריהם או קרוביהם, וחלקם רואה במוסד הנישואין מתכון להרס. חלק מהגברים רואה באישה שודדת פוטנציאלית, שאורבת להם כדי לחטוף את ילדיהם ואת כספם, ושאין לצפות ממנה שתפגין אלא זלזול ברגשותיהם העמוקים כלפיה. הדבר מוביל, באופן פרדוקסלי, לניכור רגשי הולך וגובר של גברים צעירים כלפי נשים ולהופעת אתרי אינטרנט, המספקים שלל מתכונים ל"פיתוי מהיר", פיק־אפ מקצועי ושיטות לקיום מגע מיני עם מספר מרבי של נשים בלי להיכנס למסגרת מחייבת. כך אירע שהניסיון ליצור את "הגבר החדש" קם על יוצרו והחזיר לעולם כמה תכונות לא מאוד סימפטיות של הגבר הישן, כמו נוקשות, קשיחות וניתוק בין רגש למין.

חיימוביץ' מצביעה על פרדוקס נוסף: גם 40 שנה לאחר המהפכה הפמיניסטית, כשמדובר בנישואין, נשים ממשיכות להעדיף גברים שגבוהים מהן, מרוויחים יותר מהן ובעלי סטטוס חברתי גבוה משלהן.

למרות שמיעוט מסוים של גברים אכן חי בעולם האכזרי של הדייטים הדרוויניסטיים, פוקד פיק־אפ בארים ומפחד מקשר מחייב, רוב הגברים מקווים עדיין למצוא יום אחד את אהבתם ולבסס את החיים איתה תוך התחייבות הדדית ארוכת טווח. ייתכן שזה פרדוקס נוסף של מורשת דרווין, צורך שהאבולוציה פיתחה אצל האדם, במוחו או דרך המערכות החברתיות בהן הוא מתפקד, והוא משרת, ככל הנראה, היטב את יכולת ההישרדות שלו.

המסקנה: למרות המלחמה שם בחוץ, מאפיינים כמו אהבה למוסיקה, התרגשות מטקס דתי, הצורך במחילה והשלמה והכמיהה לאהבה ולאינטימיות מלווים אותנו ותורמים לאבולוציה האנושית. ■

zeeviksh@gmail.com

זאב שביידל הוא קרימינולוג וכותב בעיתון "מקור ראשון"